



TUGAS AKHIR - MO141326

ANALISIS VARIASI POSISI *RUDDER* TERHADAP
EFEKTIVITAS MANUVER KAPAL

Benedictus Johanes Belalawe

NRP. 4312 100 070

Dosen Pembimbing :

Ir. Wisnu Wardhana, S.E., M.Sc., Ph.D

Yoyok Setyo Hadiwidodo, ST., M.T., Ph.D.

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA 2017



FINAL PROJECT - MO141326

ANALYSIS OF THE VARIATION OF RUDDER POSITION
AGAINST THE EFFECTIVENESS OF SHIP MANEUVERING

Benedictus Johanes Belalawe

NRP. 4312 100 070

Supervisors :

Ir. Wisnu Wardhana, S.E., M.Sc., Ph.D

Yoyok Setyo Hadiwidodo, ST., M.T., Ph.D.

DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING

FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY

SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY

SURABAYA 2017

LEMBAR PENGESAHAN

VARIASI POSISI *RUDDER* TERHADAP EFEKTIVITAS MANUVER KAPAL

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Benedictus Johannes Belalawe

NRP. 4312 100 070

Disetujui oleh:

1. Ir. Wisnu Wardhana, S.E., M.Sc., Ph.D. (Pembimbing 1)

2. Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D. (Pembimbing 2)

3. Ir. Imam Rochani, M.Sc. (Penguji 1)

4. Ir. Mas Murtedjo, M.Eng. (Penguji 2)

5. Nur Syahroni ST., MT., Ph.D. (Penguji 3)

6. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc., Ph.D. (Penguji 4)

SURABAYA, Januari 2017

ANALISIS VARIASI POSISI *RUDDER* TERHADAP EFEKTIVITAS MANUEVER KAPAL

Nama Mahasiswa : Benedictus Johanes Belalawe
NRP : 4312 100 070
Jurusan : Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Dosen Pembimbing : Ir. Wisnu Wardhana, S.E., M.Sc., Ph.D.
Yoyok Setyo Hadiwidodo, ST., M.T., Ph.D.

Abstrak

Kinerja *rudder* pada sebuah kapal mempengaruhi kemampuan kapal untuk melakukan manuver. *Rudder* yang digunakan sebagai objek dalam penelitian ini merupakan *rudder* yang terpasang pada sebuah kapal cepat dengan LOA (*Length Over All*) kapal 59.8 m dan berkecepatan dinas 28 knot. Dalam laporan ini akan dibahas tentang gaya yang bekerja pada *rudder* dan distribusi kecepatan aliran fluida akibat 3 variasi posisi *rudder* ($X/L=80\%$, $X/L=100\%$, $X/L=120\%$). Analisis yang dilakukan dalam penelitian ini berdasarkan metode CFD (*Computatiional Fluid Dynamics*). Analisis efektivitas manuver dilakukan dengan mempertimbangkan besarnya nilai *drag force* dan *lift force* yang dihasilkan oleh *rudder*, serta penurunan *fluid velocity* u pada area *rudder*. Pada variasi $X/L=120\%$ sudut *rudder* 35° , *rudder* menghasilkan nilai total *drag force rudder* dan total *lift force rudder* terbesar dengan nilai masing-masing 760887 N dan 1230097 N. Serta penurunan *fluid velocity* u paling signifikan juga pada variasi $X/L=120\%$ dengan nilai 10.08 m/s pada *portside rudder* dan 9.30 m/s pada *starboard rudder*.

Kata kunci: CFD, *drag force*, *fluid velocity*, manuver, *lift force*, *rudder*

ANALYSIS OF THE VARIATION OF RUDDER POSITION AGAINST THE EFFECTIVENESS OF SHIP MANEUVERING

Name : Benedictus Johanes Belalawe
Reg. Number : 4312 100 070
Department : Ocean Engineering
Faculty of Marine Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Supervisors : Ir. Wisnu Wardhana, S.E., M.Sc., Ph.D
Yoyok Setyo Hadiwidodo, ST., M.T., Ph.D.

Abstract

The performance of the rudder on a ship affects the ability of the vessel to perform the maneuver. The rudder is used as object in this research is the rudder that is mounted on a fast boat with LOA (Length Over All) 37.2 m and service speed of 28 knots. In this report will be discussed about the forces acting on the rudder and the distribution velocity of the fluid flow due to the position of the rudder 3 variations ($X/L = 80\%$, $X/L = 100\%$, $X/L = 120\%$). The analysis undertaken in this study based on CFD method (Computatiional Fluid Dynamics). Analysis of the effectiveness of the maneuvers performed by considering the magnitude of the drag force and value of the lift force generated by a rudder, as well as a decrease in the fluid velocity u on the area of the rudder. On the variation of $X/L = 120\%$ rudder angle 35° , the rudder produces a value of total drag force the rudder and the elevator rudder force the largest total value of each 760887 N and 1230097 N. And decrease fluid velocity u most significant also in variation $X/L = 120\%$ with a value of 10 m/s the portside on the rudder and the 9.30 m/s on starboard rudder.

Keywords: CFD, drag force, fluid velocity, maneuvering, lift force, rudder

KATA PENGANTAR

Salam sejahtera,

Puji syukur atas kasih karunia Tuhan Yang Maha Esa yang senantiasa memberkati dan membimbing penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik dan lancar. Judul yang diangkat dalam Tugas Akhir ini adalah **“Analisis Variasi Posisi *Rudder* Terhadap Efektivitas Manuver Kapal”**.

Tugas Akhir ini disusun guna memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S-1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Tujuan akhir dalam pengerjaan Tugas Akhir ini yaitu untuk mengetahui posisi *rudder* yang menunjukkan tingkat efektivitas manuver terbaik pada sebuah kapal.

Penulis menyadari bahwa penelitian ini masih jauh dari sempurna, sehingga penulis senantiasa membuka diri untuk masukan dan kritik demi tercapainya kesempurnaan penelitian selanjutnya yang berkaitan. Akhir kata dengan segala kerendahan hati penulis berharap semoga laporan ini bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, Januari 2017

Benedictus Johanes Belalawe

UCAPAN TERIMA KASIH

Tugas akhir ini tidak akan terselesaikan tanpa adanya bantuan dari pihakpihak lain yang dengan dukungan dan semangat telah membantu penulis dalam segala proses pengerjaannya baik secara moril maupun materil. Oleh karena itu, pada kesempatan kali ini penulis mengucapkan rasa syukur dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Tuhan Yesus, yang telah memberikan kasih dan berkat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.
2. Kedua orang tua penulis, yang telah memberikan semangat kepada penulis selama ini.
3. Bapak Ir. Wisnu Wardhana, S.E., M.Sc., Ph.D selaku dosen pembimbing I atas bimbingan yang telah diberikan selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini;
4. Bapak Yoyok Setyo Hadiwidodo, ST., M.T., Ph.D.selaku dosen pembimbing II atas bimbingan yang telah diberikan selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini;
5. Bapak Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc. yang telah menjadi dosen wali penulis, terima kasih atas bimbingan, nasehat serta kesabarannya.
6. Rekan-rekan satu angkatan, Varuna L-30 yang ikut membantu dalam proses penyelesaian Tugas Akhir ini;
7. Pihak-pihak lain yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Semoga senantiasa bantuan yang diberikan menjadi berkat yang bermanfaat bagi setiap pihak.

Surabaya, Januari 2017

Benedictus Johanes Belalawe

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	vi
UCAPAN TERIMA KASIH	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG MASALAH	1
1.2 PERUMUSAN MASALAH	2
1.3 TUJUAN	2
1.4 MANFAAT	3
1.5 BATASAN MASALAH	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	5
2.1 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.2 DASAR TEORI	5
2.2.1 <i>Rudder</i>	5
2.2.1.1 Klasifikasi <i>Rudder</i>	6
2.2.1.2 Dimensi <i>Rudder</i>	7
2.2.2 Gaya yang Bekerja pada <i>Rudder</i>	9
2.2.3 Tahanan Kapal	11
2.2.4 Konsep CFD (<i>Computational Fluid Dynamics</i>)	16
2.2.4.1 Metode Beda Hingga (<i>Finite Difference Method</i>)	17
2.2.4.2 Persamaan Navier-Stokes untuk Fluida Newtonian	19
2.2.4.3 Metode Elemen Hingga (<i>Finite Element Method</i>)	21
2.2.4.4 Metode <i>Spectral</i>	21
2.2.4.5 Metode Volume Hingga (<i>Finite Volume Method</i>)	21
2.2.5 Simulasi CFD	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	29

3.1 METODE PENELITIAN	29
3.2 LANGKAH Pengerjaan	29
3.2.1 Studi Literatur dan Pengumpulan Data	31
3.2.2 Pemodelan Struktur	31
3.2.3 Simulasi CFD	32
3.2.4 Anallisis Efektivitas Manuver	32
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN	33
4.1 PEMODELAN STRUKTUR	33
4.1.1 Lambung Kapal	33
4.1.2 <i>Propeller</i>	35
4.1.3 <i>Rudder</i>	35
4.2 SIMULASI CFD	36
4.2.1 Validasi <i>Software</i>	40
4.3 ANALISIS <i>DRAG FORCE</i> DAN <i>LIFT FORCE</i> DENGAN VARIASI POSISI <i>RUDDER</i>	44
4.4 ANALISIS KECEPATAN ALIRAN DENGAN VARIASI POSISI <i>RUDDER</i>	49
4.5 ANALISIS EFEKTIVITAS MANUVER KAPAL	54
4.5.1 Analisis Efektivitas Manuver Berdasarkan <i>Drag Force</i> dan <i>Lift Force</i> pada <i>Rudder</i>	54
4.5.1 Analisis Efektivitas Manuver Berdasarkan Distribusi Kecepatan Aliran	61
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	63
5.1 KESIMPULAN	63
5.2 SARAN	63
DAFTAR PUSTAKA	65
LAMPIRAN	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Manuver kapal.....	1
Gambar 2.1 Variasi bentuk <i>rudder</i>	6
Gambar 2.2 Dimensi <i>rudder</i>	7
Gambar 2.3 Macam-macam profil <i>rudder</i>	8
Gambar 2.4 Konfigurasi propeller dan rudder.....	9
Gambar 2.5 Gaya yang bekerja pada <i>rudder</i>	10
Gambar 2.6 Komponen tegangan pada elemen fluida.....	18
Gambar 3.1 Diagram alir pengerjaan tugas akhir	30
Gambar 3.2 Kapal perang KCR-60M.....	31
Gambar 3.3 Ilustrasi 2D tampak depan <i>propeller</i> dan <i>rudder</i>	32
Gambar 4.1 Model lambung kapal tampak atas.....	33
Gambar 4.2 Model lambung kapal tampak samping	34
Gambar 4.3 Model lambung kapal tampak depan.....	34
Gambar 4.4 Model <i>left hand propeller</i>	35
Gambar 4.5 Model <i>rudder</i>	35
Gambar 4.6 <i>Setup</i> simulasi pada <i>software</i>	36
Gambar 4.7 <i>Setup</i> simulasi untuk validasi <i>software</i>	41
Gambar 4.8 <i>Drag force</i> pada <i>rudder</i>	42
Gambar 4.9 <i>Lift force</i> pada <i>rudder</i>	42
Gambar 4.10 Total nilai <i>drag force</i> dan <i>lift force</i> pada <i>rudder</i>	43
Gambar 4.11 <i>Left starboard</i> dan <i>left portside rudder</i>	44
Gambar 4.12 <i>Right starboard</i> dan <i>right portside rudder</i>	45
Gambar 4.13 Distribusi <i>fluid velocity u</i>	49
Gambar 4.14 Distribusi <i>fluid velocity u</i> untuk variasi $X/L=80\%$	50
Gambar 4.15 Distribusi <i>fluid velocity u</i> untuk variasi $X/L=100\%$	51
Gambar 4.16 Distribusi <i>fluid velocity u</i> untuk variasi $X/L=120\%$	52
Gambar 4.17 <i>Fluid velocity u</i> untuk $X/L=120\%$ sudut 35° <i>starboard rudder</i>	53
Gambar 4.18 Grafik hubungan antara <i>drag force</i> dengan sudut <i>rudder</i> pada <i>portside rudder</i>	55

Gambar 4.19 Grafik hubungan antara <i>drag force</i> dengan sudut <i>rudder</i> pada <i>starboard rudder</i>	56
Gambar 4.20 Grafik hubungan antara total <i>drag force</i> dengan sudut <i>rudder</i>	57
Gambar 4.21 Grafik hubungan antara <i>lift force</i> dengan sudut <i>rudder</i> pada <i>portside</i> <i>rudder</i>	58
Gambar 4.22 Grafik hubungan antara <i>lift force</i> dengan sudut <i>rudder</i> pada <i>starboard rudder</i>	59
Gambar 4.23 Grafik hubungan antara total <i>Lift force</i> dengan sudut <i>rudder</i>	60
Gambar 4.24 Grafik hubungan antara <i>fluid velocity u</i> dengan sudut <i>rudder</i> pada <i>portside rudder</i>	61
Gambar 4.25 Grafik hubungan antara <i>fluid velocity u</i> dengan sudut <i>rudder</i> pada <i>starboard rudder</i>	62

DAFTAR TABEL

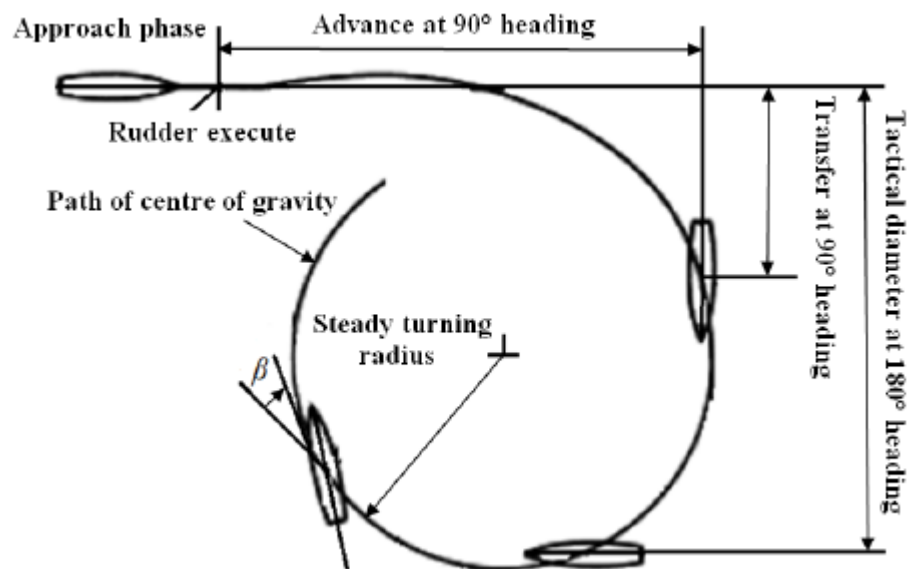
Tabel 4.1 Validasi model lambung kapal	34
Tabel 4.2 <i>Analysis type</i>	36
Tabel 4.3 <i>Domain water</i>	37
Tabel 4.4 <i>Domain hull</i>	38
Tabel 4.5 <i>Domain propellers (portside dan starboard)</i>	38
Tabel 4.6 <i>Domain rudders (portside dan starboard)</i>	38
Tabel 4.7 <i>Boundary condition: inlet</i>	39
Tabel 4.8 <i>Boundary condition outlet dan samping</i>	39
Tabel 4.9 <i>Boundary condition wall</i>	40
Tabel 4.10 <i>Global initialization</i>	40
Tabel 4.11 <i>Drag force dan lift force pada left portside rudder</i>	45
Tabel 4.12 <i>Drag force dan lift force pada right portside rudder</i>	46
Tabel 4.13 <i>Drag force dan lift force pada left starboard rudder</i>	46
Tabel 4.14 <i>Drag force dan lift force pada right starboard rudder</i>	47
Tabel 4.15 <i>Drag force dan lift force pada portside rudder</i>	48
Tabel 4.16 <i>Drag force dan lift force pada starboard rudder</i>	48
Tabel 4.17 <i>Drag force dan lift force pada rudder</i>	48
Tabel 4.18 <i>Fluid velocity u di sekitar rudder</i>	54

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG MASALAH

Perkembangan teknologi maritim saat ini, khususnya di bidang perkapalan dituntut untuk meningkatkan kemampuan manuver kapal agar meminimalkan resiko kecelakaan dan meningkatkan kemampuan kapal, terutama jenis kapal yang mengutamakan kecepatan dan kelincahan saat berlayar seperti kapal perang. *Maneuverability* kapal adalah kemampuan kapal berputar maupun berubah arah di semua kondisi perairan (Majid, 2011). Sebuah kapal dapat merubah arahnya karena adanya gaya tambahan dari daun kemudi. Ketika *rudder* (kemudi) berputar membentuk sudut tertentu maka ada perubahan tekanan, kecepatan dan arah aliran fluida, hal inilah yang menyebabkan perubahan arah kapal.



Gambar 1.1 Manuver kapal (Shenoi dkk, 2013)

Kapal dituntut harus mempunyai *maneuverability* yang baik untuk menjamin kelancaran dan keselamatan kapal dalam pengoperasian dan pelayarannya. Kapal dengan *maneuverability* yang baik akan bisa terhindar dari kecelakaan atau

tabrakan dengan benda atau objek yang ada di sekitarnya serta meningkatkan kemampuan kapal perang dalam melakukan pekerjaannya seperti pengejaran dan penyeragaman kapal musuh. Untuk mendapatkan *maneuverability* yang baik, maka perencanaan pembangunan kapal harus baik, mulai dari desain badan kapal, sistem *propeller* dan sistem *rudder* (Hermansyah, 2007).

Ketika sebuah kapal berlayar di laut, kapal harus dapat dikendalikan sesuai jalur yang ditentukan agar dapat bergerak lurus, berputar, ataupun menghindari pada keadaan darurat (Imron, 2010). Keadaan tersebut lebih lanjut harus dapat dioperasikan secara konsisten dan tidak hanya pada kondisi di air tenang tapi juga dalam keadaan berombak atau pada saat badai. Pengendalian arah kapal sangat ditentukan oleh kinerja *rudder*. Dengan memiliki sistem *rudder* yang optimal, kapal akan memiliki kemampuan manuver yang baik. Maka perlu adanya penelitian tentang sistem *rudder* yang baik untuk meningkatkan kemampuan manuver kapal. Pada penelitian Tugas Akhir ini, penentuan sistem kemudi yang dimaksud adalah bagaimana posisi *rudder* yang menunjukkan tingkat efektivitas manuver terbaik.

1.2 PERUMUSAN MASALAH

Mengacu pada latar belakang yang telah dijelaskan pada bagian sebelumnya, maka permasalahan dari tugas akhir ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana distribusi *drag force* dan *lift force* pada *rudder* ?
2. Bagaimana distribusi kecepatan aliran di sekitar *rudder* ?
3. Dimana posisi *rudder* yang menunjukkan tingkat efektivitas manuver terbaik?

1.3 TUJUAN

Dari perumusan masalah di atas, maka tujuan yang ingin dicapai yaitu:

1. Mengetahui seberapa besar pengaruh posisi *rudder* terhadap distribusi *drag force* dan *lift force* yang dihasilkan.

2. Mengetahui seberapa besar pengaruh posisi *rudder* terhadap distribusi kecepatan aliran yang dihasilkan.
3. Mengetahui posisi *rudder* yang menunjukkan tingkat efektivitas manuver terbaik.

1.4 MANFAAT

Adapun beberapa manfaat yang dapat diambil dari tugas akhir ini, yaitu:

1. Memberikan informasi dan pemahaman tentang kontribusi *rudder* terhadap manuver
2. Memberikan informasi dan pemahaman tentang pengaruh posisi *rudder* terhadap efektivitas manuver kapal.
3. Sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya yang berhubungan dengan penelitian ini.

1.5 BATASAN MASALAH

Untuk memudahkan analisa dan dapat mencapai tujuan yang diharapkan, maka perlu diberikan batasan-batasan sebagai berikut:

1. Dimensi *propeller* dan *rudder* yang dimodelkan berdasarkan objek yang dikaji yaitu kapal perang KCR-60m.
2. Sudut *rudder* yang ditinjau adalah 5° , 15° , 25° dan 35° searah jarum jam.
3. Perhitungan yang dilakukan berdasarkan metode CFD (*Computational Fluid Dynamics*).
4. Analisa aliran fluida berdasarkan kecepatan dinas kapal.
5. Mengabaikan beban arus dan gelombang.
6. Tebal *blade propeller* diasumsikan sebagai plat tipis.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian Tugas Akhir ini dilakukan dengan memanfaatkan berbagai pengalaman penelitian dalam bidang serupa yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya. Pengalaman penelitian tersebut pada khususnya adalah mengenai kinerja *rudder*. Ananto (2009) telah melakukan penelitian tentang perbandingan kemampuan manuver antara *voith cycloidal rudder* dengan konvensional *rudder*. Selain itu peneliti lainnya, Saragih (2011) juga telah melakukan penelitian tentang pengaruh jumlah dan posisi rudder terhadap kemampuan manuver kapal jenis Ro-Ro, namun penelitian tersebut tidak memodelkan lambung kapal dalam simulasi software.

2.2 DASAR TEORI

2.2.1 *Rudder*

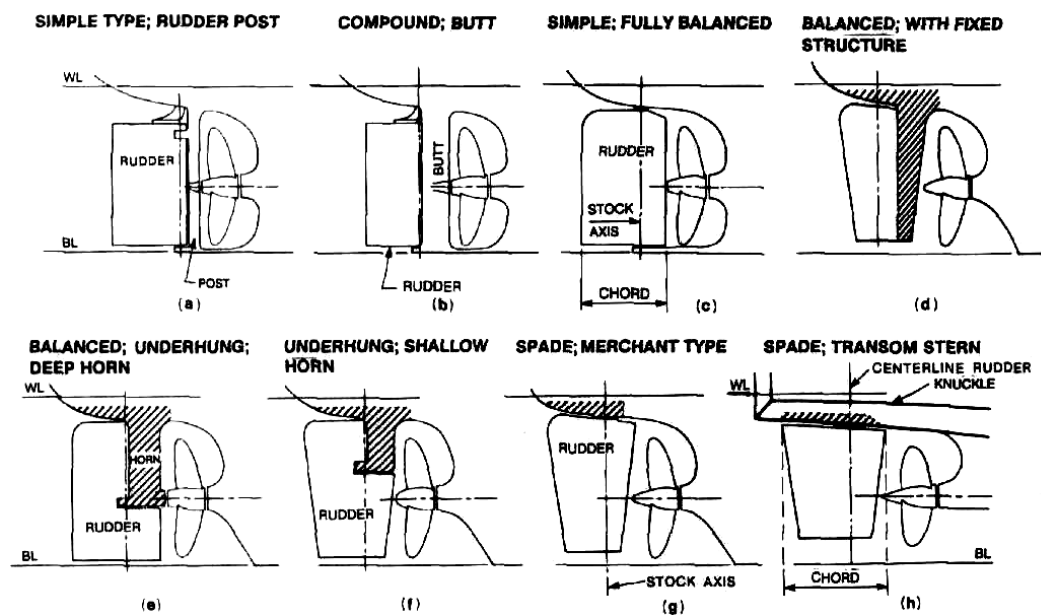
Rudder atau kemudi merupakan alat mekanis pada kapal yang berfungsi untuk merubah arah aliran fluida yang dihasilkan oleh putaran *propeller*, sehingga mengakibatkan perubahan arah haluan kapal. Bagian-bagian utama dari sistem pengemudian dapat dikelompokkan dalam empat bagian utama, yaitu:

- a) Kemudi, bagian yang berfungsi sebagai alat untuk membelokkan kapal sesuai dengan sudut belok yang dibutuhkan dengan memanfaatkan aliran fluida yang dihasilkan oleh *propeller*.
- b) Unit kontrol, bagian yang berfungsi untuk mengontrol dan mengendalikan kerja dari sistem pengemudian.
- c) Unit tenaga, bagian yang berfungsi untuk memberikan tenaga yang nantinya digunakan untuk proses menggerakkan poros kemudi.

- d) Unit transmisi, bagian yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga dari unit tenaga ke kemudi, maupun dari kontrol pada ruang kemudi ke sistem pengemudian.

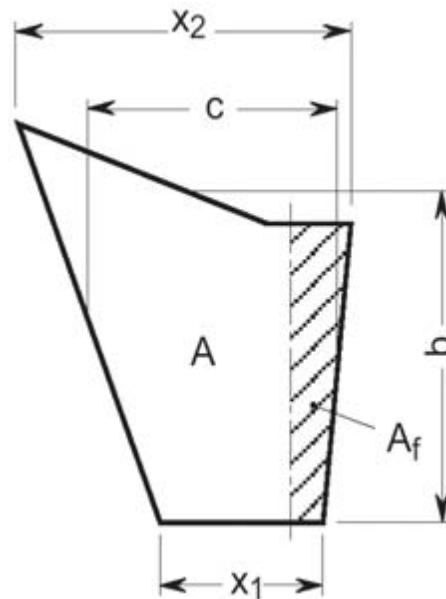
2.2.1.1 Klasifikasi *Rudder*

- a) Berdasarkan letak daun kemudi terhadap poros kemudi
- Kemudi biasa (*unbalance*) yaitu daun kemudi yang terletak dibelakang poros kemudi.
 - Kemudi *balance* yaitu luas daun kemudi yang terbagi dua bagian yang sama di bagian depan dan belakang poros kemudi.
 - Kemudi semi *balance* yaitu pada bagian atas daun kemudi biasa sedangkan bagian bawah merupakan kemudi *balance*.
- b) Berdasarkan letak terhadap sepatu.
- Kemudi meletak.
 - Kemudi menggantung.
 - Kemudi setengah menggantung.



Gambar 2.1 Variasi bentuk *rudder* (Saunders, 1965)

2.2.1.2 Dimensi *Rudder*



Gambar 2.2 Dimensi *rudder* (BKI Vol. II, 2009)

Keterangan :

A = Luas *mid-plane rudder* yang berada di belakang poros

A_f = Luas *mid-plane rudder* yang berada di depan poros

c = Lebar *rudder*

b = Tinggi *rudder*

X_1 = Lebar bagian bawah *rudder*

X_2 = Lebar bagian atas *rudder*

Berdasarkan “*RULES FOR HULL*” Vol. II, Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) telah menentukan aturan desain suatu *rudder* agar memiliki kemampuan manuver yang baik. Salah satu aturan yang dimuat mengatur tentang luas *mid-plane* rudder.

Luas *mid-plane rudder*

$$A = \frac{c_1 \times c_2 \times c_3 \times c_4 \times 1.75 \times L \times T}{100} \dots \dots \dots (2.1)$$

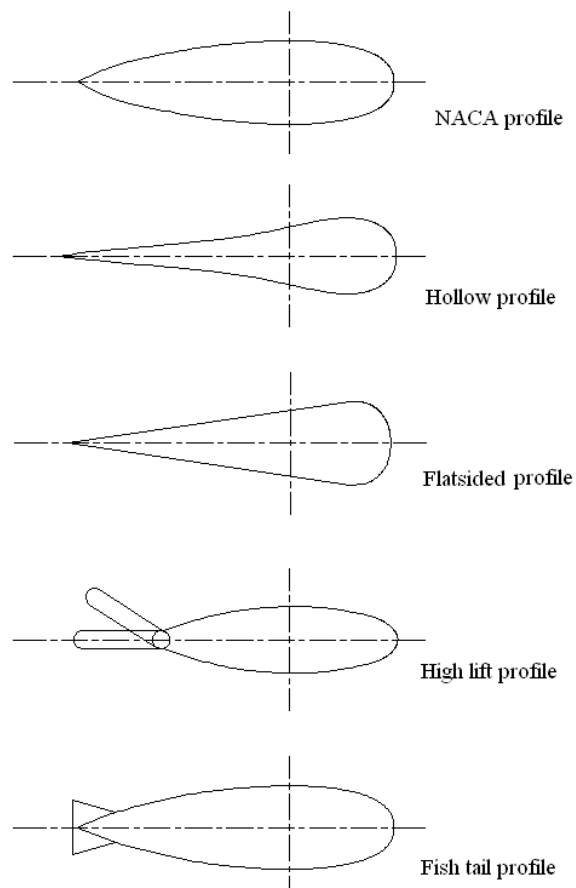
Dengan,

L = Lpp kapal

T = *Draft* / sarat kapal

c_1 = Faktor tipe kapal

- c_1 untuk kapal pada umumnya = 1.0
 c_1 untuk kapal *bulk carrier* dan tanker lebih dari 50.000 ton = 0.9
 c_1 untuk kapal tunda = 0.7
 c_2 = Faktor tipe *rudder*
 c_2 untuk *rudder* pada umumnya = 1.0
 c_2 untuk tipe semi *spade rudder* = 0.9
 c_2 untuk tipe *high lift rudder* = 0.7
 c_3 = Faktor profil *rudder*
 c_3 untuk NACA *profiles* dan *plate rudder* = 1.0
 c_3 untuk *hollow profiles* dan *mixed profiles* = 0.8
 c_4 = Faktor perencanaan *rudder*
 c_4 untuk *rudder* pada *propeller jet* = 1.0
 c_4 untuk *rudder* di luar *propeller jet* = 1.5

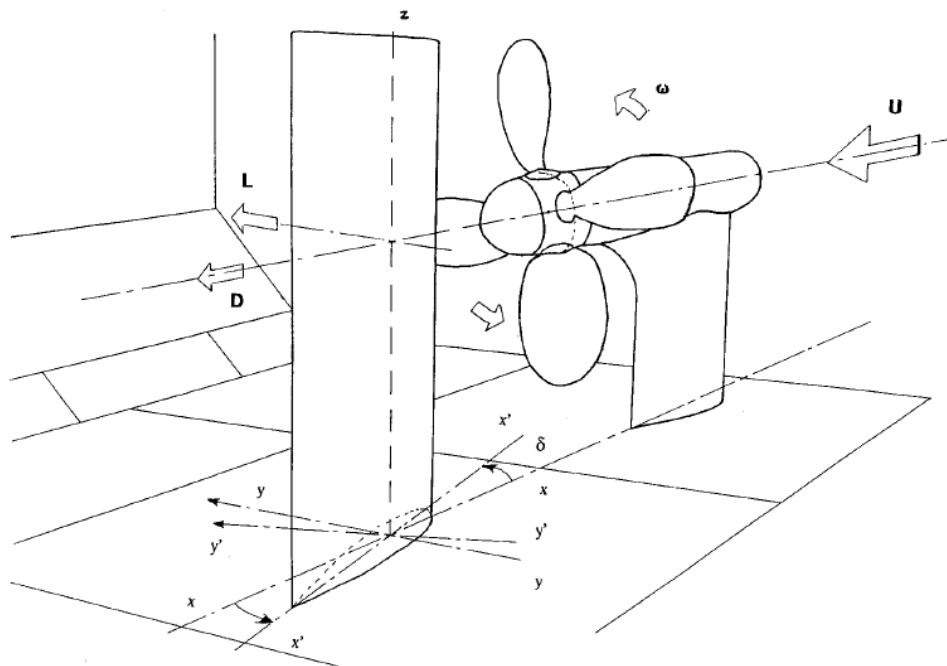


Gambar 2.3 Macam-macam profil *rudder* (BKI Vol. II, 2009)

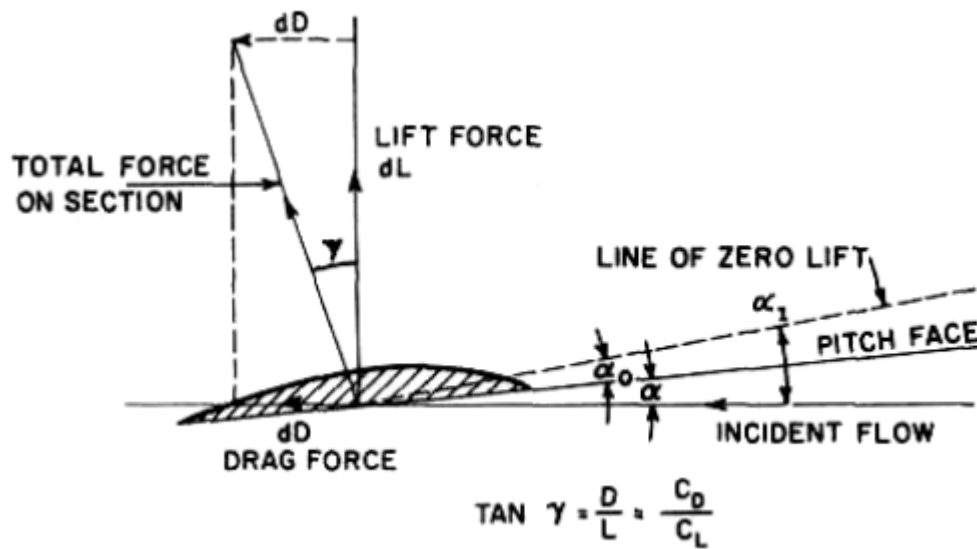
2.2.2 Gaya yang Bekerja pada *Rudder*

Aliran fluida pada lambung kapal yang tercelup air sebelum mengenai daun kemudi pada dasarnya adalah simetris. Arah kapal tidak berubah karena aliran yang dihasilkan saling menyeimbangkan satu sama lain. Oleh karena itu untuk merubah arah kapal dibutuhkan gaya tambahan, yaitu gaya pada daun kemudi. Dengan adanya daun kemudi yang membentuk arah fluida dengan sudut α pada kecepatan yang konstan maka muncullah gaya pada daun kemudi yang tidak simetris. Gaya ini disebut gaya kemudi, gaya inilah yang menyebabkan perubahan arah haluan kapal. Gaya kemudi merupakan resultan dari *drag force* dan *lift force*.

Istilah *lift* digunakan pada analisa gaya ke atas suatu *foil aerodynamic*, maka dari itu dinamakan gaya *lift* (angkat) sebab umumnya *foil aerodynamic* digunakan untuk mengangkat pesawat. Namun istilah *lift force* juga digunakan pada menganalisa gaya suatu *foil* kemudi untuk membelokkan kapal ke arah samping. Sedangkan *drag force* merupakan gaya pada kemudi yang arahnya berlawanan dengan arah laju kapal.



Gambar 2.4 Konfigurasi propeller dan rudder (Molland dan Turnock, 1991)



Gambar 2.5 Gaya yang bekerja pada *rudder* (Principles of Naval Architecture
Volume II – Propulsion, 1988)

Besarnya *lift force* dan *drag force* yang terjadi dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$L = \frac{\rho \times v^2 \times A \times C_L}{2} \dots \dots \dots (2.2)$$

$$D = \frac{\rho \times v^2 \times A \times C_D}{2} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dengan,

L = *Lift force*

D = *Drag force*

α = *Angle of attack*

V = Kecepatan fluida

C_L = Koefisien *lift force*

C_D = Koefisien *drag force*

ρ = *Density of fluid*

A = Luas penampang *rudder*

2.2.3 Tahanan Kapal

Tahanan kapal (*resistance*) merupakan gaya fluida yang bekerja pada kapal sedemikian rupa sehingga melawan gerakan kapal. Melihat bahwa kapal bergerak di bidang fluida cair yang nilai kerapatan massanya lebih besar dari udara sehingga semakin besar kecepatan dan dimensi suatu kapal maka semakin besar pula energi yang dibuang untuk menghasilkan energi berupa gelombang. Gelombang inilah yang kemudian bergesekan dengan lambung kapal dan arahnya melawan arah kapal sehingga menimbulkan gaya berlawanan.

Tahanan total pada kapal (R_T) terdiri dari komponen-komponen bagian kapal yang mempunyai kemungkinan menimbulkan gaya hambat atau *resistance*. Prinsipnya ada dua bagian kapal yang mengalami gaya hambat yaitu area bagian kapal yang terbenam dan area bagian kapal di atas permukaan air karena udara juga mempunyai faktor hambat pada kondisi tertentu.

R_T digunakan untuk menentukan besar *Effective Horse Power* yang didefinisikan sebagai daya yang diperlukan suatu kapal untuk bergerak dengan kecepatan sebesar (V_s) dan mampu mengatasi gaya hambat atau tahanan sebesar (R_T) dan yang lebih penting untuk mengetahui seberapa besar daya dari *main engine* agar kapal yang akan dibuat tidak mengalami kelebihan daya yang besar atau justru tidak bias memenuhi kecepatan karena daya yang diprediksi tidak bias mengatasi besar tahanan kapal. Perhitungan ini sangat penting dan diharapkan seakurat mungkin dalam arti tidak kurang dan tidak lebih karena mempengaruhi aspek-aspek dari segi biaya, investasi, efisiensi, dll.

Kapal yang bergerak di media air dengan kecepatan tertentu, akan mengalami gaya hambat yang berlawanan dengan arah gerak kapal tersebut. Besar hambatan suatu kapal dipengaruhi oleh beberapa hal, yaitu luas permukaan basah, jenis fluida dan juga kecepatan kapal. Nilai hambatan meningkat apabila angka *Froude* mengalami kenaikan.

Hambatan total merupakan total dari keseluruhan gaya yang bekerja melawan gerakan kapal. Nilainya didapatkan pada kondisi air tenang. Untuk mengetahui nilai hambatan total secara praktis, diperlukan suatu rumusan pendekatan yang

didapatkan dari suatu metode empiris. Pendekatan ini diperlukan karena persamaan yang menyertainya lebih sederhana dibandingkan dengan pendekatan dengan kondisi mendekati sebenarnya. Pada umumnya besaran hambatan kapal dapat dideskripsikan melalui koefisien non dimensional yang dapat mewakili, sebagai contoh hambatan total dapat ditulis sebagai koefisien C_T (ITTC, 1957)

$$C_T = \frac{R_T}{0.5\rho V_s^2 s} \dots \dots \dots (2.4)$$

Besar hambatan total akan naik secara kontinu seiring bertambahnya kecepatan kapal, hingga pada kecepatan tertentu hambatan akan sangat besar pada kenaikan kecepatan yang tidak begitu signifikan. Secara umum hambatan total terdiri dari beberapa komponen diantaranya adalah hambatan viskos, gelombang dan udara. Rumusan hambatan total dapat ditulis melalui persamaan

$$R_T = R_V + R_W + R_A \dots \dots \dots (2.5)$$

Sedangkan berdasarkan standar *International Towing Tank Conference* (ITTC) hambatan total dibagi menjadi hambatan kekentalan dan hambatan gelombang, sedangkan hambatan udara diabaikan. Menurut Shoji (2009) hambatan total juga dapat dijabarkan ke dalam komponen sebagai berikut:

1. Total *resistance* = water resistance + air resistance
2. Water *resistance* = *frictional resistance* + *eddy resistance* + *wave making resistance*
3. Water *resistance* = *frictional resistance* + *residuary resistance*
4. Water *resistance* = *viscous resistance* + *wave making resistance*
5. *Residuary resistance* = *eddy resistance* + *wave making resistance*
6. *Viscous resistance* = *frictional resistance* + *eddy resistance*

Menurut Lewis (1998), hambatan total yang bekerja pada kapal dapat dibagi dalam empat komponen utama, yaitu:

1. Hambatan *viscous*, merupakan hambatan yang muncul karena adanya efek viskositas fluida. Secara teoritis, hambatan viskos atau sering dipresentasikan sebagai koefisien C_v memiliki 2 komponen utama, yaitu

friction dan *pressure resistance* (Utama dan Molland, 2001). Komponen tersebut memiliki arah sumbu kerja yang berbeda, satu komponen bekerja pada arah mengikuti garis *streamline* lambung kapal membentuk sudut terhadap aliran normal fluida (arah *tangensial*) disebut sebagai *friction resistance*, sedangkan komponen lainnya bekerja sebagai gaya normal yang arahnya tegak lurus dengan lambung kapal *pressure resistance*.

2. Hambatan gesek (*friction resistance*), merupakan komponen hambatan yang terkait dengan gaya yang timbul akibat dari gesekan antara molekul. Penyebab utama hambatan ini adalah viskositas, kecepatan kapal dan luas permukaan basah. Rumus umum dari tahanan gesek kapal (ITTC, 1957).

$$R_f = \frac{1}{2} \rho C_f S V^2 \dots \dots \dots (2.6)$$

Hambatan ini sebenarnya merupakan bagian dari hambatan viskos (*viscous resistance*), namun dalam aplikasinya keduanya sering dianggap sama karena diabaikannya komponen lain yang menyertai hambatan viskos. Kondisi ini berlaku untuk pelat datar.

C_f bekerja sepanjang lambung kapal dan menghasilkan gesekan antar molekul fluida, sehingga sering disebutkan bahwa C_f dipengaruhi oleh kekentalan dari fluida di daerah sekitar lambung, ditambah lagi pengaruh WSA, kecepatan kapal juga perlu dipertimbangkan untuk menghitung nilai C_f . nilai atau besaran C_f didapatkan melalui eksperimen yang panjang dimana eksperimen yang dilakukan mengansumsikan luasan daerah lambung kapal yang tercelup air sebagai luasan dari pelat datar yang besarnya dalah sama (ITTC, 1957).

Sangat banyak formula pendekatan yang digunakan untuk menentukan nilai C_f , salah satu formula yang sering dipakai adalah ITTC 1957.

$$C_f = \frac{0.075}{(\log(Re) - 2)^2} \dots \dots \dots (2.7)$$

Nilai C_f memiliki arah gerak searah tangensial dan dipengaruhi oleh besarnya angka *Reynolds*. Aliran laminar diaplikasikan pada bilangan *Reynolds* yang kecil sedangkan untuk *Reynolds number* yang besar digunakan untuk pola aliran yang lebih kompleks yang disebut turbulen *flow*. Besarnya bilangan *Reynolds* bergantung pada tingkat kemulusan

permukaan lambung kapal serta bentuk aliran fluida. Untuk angka *Reynolds* kurang dari 2×10^5 aliran fluida bersifat laminar, membentuk garis tipis yang mengalir teratur dengan arah *streamline* lambung kapal. Aliran fluida akan berubah menjadi *mixed* laminar and turbulen saat memasuki angka *Reynolds* pada range $2 \times 10^5 - 3 \times 10^5$. Kemudian aliran akan menjadi *full* turbulen untuk angka *Reynolds* melebihi 3×10^5 . Aliran turbulen ditandai dengan arah gerakan molekul fluida yang acak satu sama lain.

Konsep *boundary layer* masih dipakai namun yang membedakan adalah adanya transfer massa antar garis alir fluida. Secara konsep mekanisme aliran turbulen tidak dapat diperhitungkan secara pasti, tapi secara mendasar variasi kecepatan aliran fluida sifatnya sama dengan laminar flow (Carlton, 2007).

Variasi kecepatan fluida akan menyebabkan terjadinya gesekan antara molekul fluida yang sifatnya menghambat laju dari kapal, hambatan ini dinamakan *frictional resistance*. Teori ini diasumsikan pada fluida yang mengalami laminar flow, yaitu fluida mengalir mengikuti bentuk *streamline* lambung kapal dan dianggap tidak ada massa yang berpindah melewati lapisan garis air fluida.

3. Hambatan *pressure*, komponen kedua dari hambatan viskos adalah komponen yang bekerja ke arah normal lambung kapal yang disebut hambatan *pressure*. Nilainya dipengaruhi oleh tekanan yang bekerja pada lambung kapal di bawah air. Besarnya tekanan pada bagian depan sangat besar karena lambung langsung berhadapan dengan fluida, kecepatan fluida akan bertambah ketika fluida mengalir melewati lambung kapal, dan ketika melewati ujung belakang fluida akan mengalami tekanan yang lebih kecil dibandingkan dengan tekanan di daerah haluan. Tekanan yang bekerja ke arah normal akan menghasilkan *eddy* di daerah belakang lambung kapal. Menurut Lewis (1998), *eddy making resistance* dibedakan menjadi salah satu bagian yang berdiri sendiri dari hambatan total.
4. Hambatan gelombang (*wave making resistance*), merupakan komponen hambatan yang berkaitan dengan energi yang dikeluarkan secara terus-

menerus oleh kapal pada gelombang yang terbentuk pada permukaan air. Hambatan gelombang disebabkan oleh gelombang disebabkan oleh gelombang yang dihasilkan oleh gerak kapal. Gelombang yang dihasilkan kapal memiliki 2 sistem gelombang, yaitu sistem gelombang transversal dan divergen, hal ini diungkapkan juga oleh Mollanf dkk (2004).

Sistem gelombang transversal membentuk pola melintang tegak lurus dengan arah gerakan kapal. Kecepatan gerak gelombang ini sama dengan kecepatan gerakan kapal. Pada kecepatan rendah, beberapa puncak gelombang akan muncul di sepanjang lambung kapal, hal ini dikarenakan panjang gelombang akan muncul di depan lambung kapal. Hal ini dikarenakan panjang gelombang dari sistem ini lebih pendek daripada panjang kapal pada kondisi *low speed*. Apabila kecepatan dari kapal naik maka panjang gelombang dari sistem transversal ikut naik. Ketika panjang gelombang mendekati panjang kapal maka *wave making resistance* akan naik dengan sangat cepat. Hal ini dapat menjelaskan fenomena atau alasan meningkatkan hambatan total kapal ketika kecepatan kapal bertambah.

Ketika kapal mencapai kecepatan yang mengakibatkan panjang gelombang pada *wave transversal system* sama dengan panjang kapal, dapat dikatakan bahwa kapal tersebut berada pada kondisi *hull speed*. Hambatan gelombang akan naik dengan sangat cepat ketika kapal berlayar di atas kecepatan *hull speed*.

Sistem gelombang yang kedua adalah sistem gelombang divergen. Sistem gelombang ini terdiri dari dua gelombang yang dihasilkan oleh kontak fluida dengan haluan kapal dan juga kontak fluida oleh bagian buritan kapal. Interaksi dua gelombang tersebut akan menghasilkan *hollow* dan *hump* pada kurva hambatan. Kondisi *hollow* akan terjadi apabila gelombang akibat haluan dan buritan berinteraksi pada fase yang sama. Fase yang sama adalah keadaan ketika 2 puncak gelombang bertemu pada waktu yang sama, sehingga timbul hasil superposisi gelombang yang sangat tinggi sehingga disebut sebagai *hump* atau bukit. Sedangkan 2 gelombang tersebut bertemu pada fase yang berlawanan, dalam hal ini puncak gelombang salah satu gelombang bertemu dengan lembah dari

gelombang lainnya, maka akan terjadi pengurangan amplitude gelombang. Dan kondisi ini dinamakan sebagai *hollow* atau lembah (Carlton, 2007).

2.2.4 Konsep CFD (*Computational Fluid Dynamics*)

CFD (*Computational Fluid Dynamics*) merupakan metode perhitungan menggunakan kontrol dimensi, luas dan volume dengan memanfaatkan bantuan komputer. Prinsip perhitungan CFD diawali dengan membagi domain fluida menjadi sejumlah elemen terintegrasi. Setiap elemen tersebut dikontrol oleh suatu persamaan dengan menggunakan perhitungan numerik, untuk kemudian diperoleh hasil berupa gaya-gaya yang bekerja pada model ataupun keterangan lain yang dapat menggambarkan kondisi model pada kondisi batas tertentu. Kondisi batas dalam hal ini diperlukan sebagai input. Prinsip ini sering dipakai pada proses perhitungan dengan menggunakan bantuan komputasi komputer.

Sejarah penemuan CFD berawal pada tahun 60-an dan mulai dikenal pada tahun 70-an, awal pemakaian konsep CFD hanya terbatas pada liran fluida dan reaksi kimia, namun seiring dengan berkembangnya industri di tahun 90-an membuat CFD semakin dibutuhkan pada berbagai aplikasi lain. Sebagai contoh adalah semakin berkembangnya *software* CAD yang memiliki kompatibilitas tinggi dengan CFD. Baik dalam kelengkapan *tool* maupun dalam pendukung konsep perhitungan untuk menganalisis gaya yang terjadi pada model analisis. Pemakaian CFD secara umum dapat dipakai untuk memprediksi:

1. Aliran suatu fluida beserta distribusi suhunya
2. *Transfer* massa
3. Perubahan fasa seperti pada proses *melting*, pengembunan dan pendidihan
4. Reaksi kimia seperti oksidasi
5. Gerakan mekanis seperti *piston*, *fan* dan *propeller* pada kapal
6. Tegangan dan tumpuan pada benda solid
7. Gelombang electromagnet

2.2.4.1 Metode Beda Hingga (*Finite Difference Method*)

Fungsi potensial aliran (ϕ) yang tidak diketahui, ditentukan pada titik-titik simpul *grids*. Ekspansi deret Taylor sering digunakan untuk memperoleh pendekatan dalam bentuk *finite difference* turunan dari potensial aliran (ϕ) tersebut. Dengan mensubstitusikan setiap turunan yang ada pada persamaan aliran melalui pendekatan tersebut, maka akan diperoleh suatu persamaan aljabar untuk setiap *grid* (Fox dkk, 1998).

Persamaan-persamaan dasar yang digunakan dalam analisis aliran fluida terdiri dari hukum kekekalan massa dan hukum kekekalan momentum.

1. Hukum Kekekalan Massa

Berdasarkan hukum kesetimbangan massa, elemen fluida yang masuk dan keluar adalah sama. Sehingga dengan prinsip tersebut diperoleh persamaan

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \dots\dots\dots (2.8)$$

Atau dapat ditulis dalam bentuk vektor sebagai berikut:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \dots\dots\dots (2.9)$$

$$\therefore \frac{\partial \rho}{\partial t} + u \frac{\partial \rho}{\partial x} + v \frac{\partial \rho}{\partial y} + w \frac{\partial \rho}{\partial z} + \rho \left[\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right] = 0 \dots\dots\dots (2.10)$$

$$\therefore \frac{D\rho}{Dt} \rho \left[\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right] = 0 \dots\dots\dots (2.11)$$

Sehingga

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \mathbf{v}) = 0 \dots\dots\dots (2.12)$$

Persamaan di atas merupakan persamaan kekekalan massa atau persamaan kontinuitas pada titik di dalam fluida yang dapat dimampatkan (*compressible*). Suku pertama merupakan perubahan rata-rata kerapatan fluida per satuan waktu (massa per satuan volume). Suku kedua merupakan massa aliran yang meninggalkan elemen fluida, dikenal juga dengan suku konveksi. Pada fluida yang bersifat *incompressible* (misalnya cairan), kerapatannya bersifat tetap sehingga persamaan menjadi

$$\text{div}(U) = 0 \qquad \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \dots \dots \dots (2.13)$$

2. Hukum Kekekalan Momentum

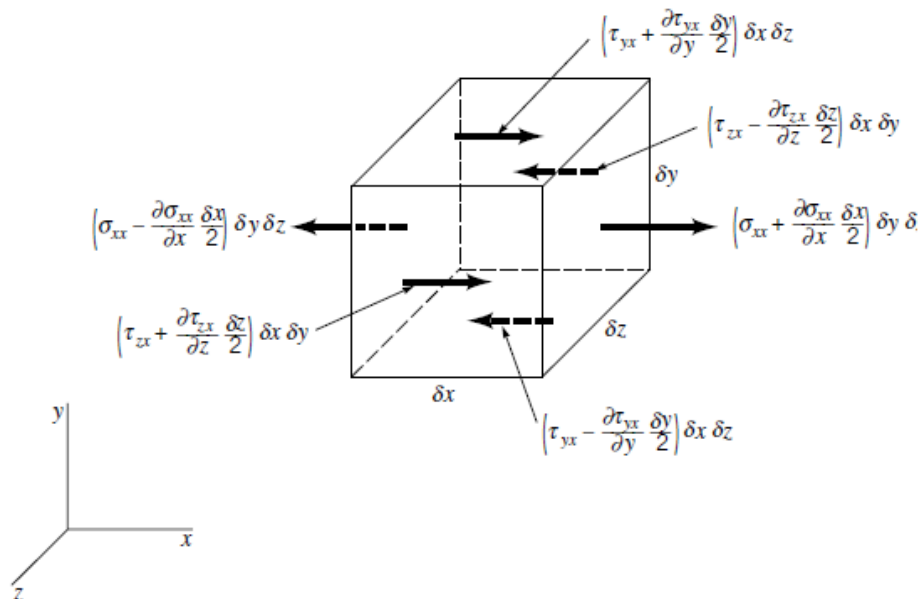
Hukum newton II menyatakan bahwa perubahan momentum yang terjadi pada partikel fluida adalah sama dengan jumlah gaya-gaya yang bekerja pada partikel tersebut. Pertambahan momentum persatuan volume pada partikel fluida diberikan oleh persamaan

$$\rho \frac{Du}{Dt} \quad \rho \frac{Dv}{Dt} \quad \rho \frac{Dw}{Dt} \dots \dots \dots (2.14)$$

Gaya yang bekerja pada fluida dibedakan menjadi dua macam yaitu *surface force* dan *body force*. *Surface force* terdiri dari gaya akibat tekanan dan gaya akibat kekentalan. Sedangkan *body force* terdiri dari gaya gravitasi, gaya *sentrifugal* dan gaya elektromagnetik.

Pada penurunan kekentalan momentum, peranan tekanan (p) dan gaya kekentalan (τ) sangat penting. Pada gambar diperoleh komponen gaya pada elemen fluida yang bekerja searah sumbu x di mana diperoleh selisih gaya sebesar

$$\left(-\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x}\right) \delta x \delta y \delta z + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} \delta x \delta y \delta z + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \delta x \delta y \delta z = 0 \dots \dots \dots (2.15)$$



Gambar 2.6 Komponen tegangan pada elemen fluida

Bila persamaan di atas dibagi dengan volume, maka akan diperoleh hubungan

$$\frac{\partial(-p + \tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} = 0 \dots \dots \dots (2.16)$$

Bila pengaruh *body force* dinyatakan sebagai besaran *source*, sedangkan momentum untuk arah sumbu x diperoleh sebagai hubungan perubahan momentum pada partikel fluida sama dengan jumlah gaya-gaya akibat tegangan permukaan. Persamaan bila ditambah dengan perubahan momentum akibat adanya *source*, maka persamaan momentum dengan arah sumbu x dinyatakan dalam persamaan.

$$\rho \frac{Du}{Dt} = \frac{\partial(-p + \tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + S_{MX} = 0 \dots \dots \dots (2.17)$$

Sedangkan komponen persamaan momentum arah sumbu y dinyatakan dalam persamaan.

$$\rho \frac{Du}{Dt} = \frac{\partial(-p + \tau_{yy})}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + S_{MY} = 0 \dots \dots \dots (2.18)$$

Dan komponen persamaan momentum arah sumbu z dinyatakan dalam persamaan.

$$\rho \frac{Du}{Dt} = \frac{\partial(-p + \tau_{zz})}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} + S_{MZ} = 0 \dots \dots \dots (2.19)$$

2.2.4.2 Persamaan Navier-Stokes untuk Fluida Newtonian

Persamaan penentu dalam aliran fluida mengandung besaran yang tidak diketahui yaitu komponen tegangan kekentalan. Dalam aliran fluida, tegangan kekentalan tersebut dapat dinyatakan sebagai fungsi deformasi local. Pada analisis tiga dimensi, deformasi local tersebut terdiri dari deformasi linier dan deformasi volumetrik.

Deformasi linier dibedakan menjadi:

1. Komponen deformasi elongasi, dinyatakan sebagai

$$e_{xx} = \frac{\partial u}{\partial x}, e_{yy} = \frac{\partial v}{\partial y}, e_{zz} = \frac{\partial w}{\partial z} \dots \dots \dots (2.20)$$

2. Komponen deformasi geser dinyatakan sebagai

$$e_{xy} = e_{yx} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \dots \dots \dots (2.21)$$

$$e_{xz} = e_{zx} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \dots \dots \dots (2.22)$$

$$e_{yz} = e_{zy} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \dots \dots \dots (2.23)$$

Sedangkan deformasi volumetrik dinyatakan sebagai

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = \text{div } u \dots \dots \dots (2.24)$$

Pada fluida yang bersifat *Newtonian*, tegangan kekentalan berbanding lurus terhadap deformasi. Dengan memasukkan besaran-besaran viskositas untuk deformasi linier dan untuk deformasi volumetrik, maka diperoleh komponen tegangan kekentalan sebagai berikut:

$$\tau_{xx} = 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} + \lambda \text{div } u \dots \dots \dots (2.25)$$

$$\tau_{yy} = 2\mu \frac{\partial v}{\partial y} + \lambda \text{div } u \dots \dots \dots (2.26)$$

$$\tau_{zz} = 2\mu \frac{\partial w}{\partial z} + \lambda \text{div } u \dots \dots \dots (2.27)$$

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = \mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \lambda \text{div } u \dots \dots \dots (2.28)$$

$$\tau_{xz} = \tau_{zx} = \mu \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) + \lambda \text{div } u \dots \dots \dots (2.29)$$

$$\tau_{yz} = \tau_{zy} = \mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) + \lambda \text{div } u \dots \dots \dots (2.30)$$

Dengan substitusi persamaan di atas ke dalam persamaan sebelumnya hingga akan menghasilkan persamaan navier-stokes yang akan digunakan dalam metode *finite volume*.

$$\rho \frac{Du}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \text{div}(\mu \cdot \text{grad} \cdot u) + S_{MX} \dots \dots \dots (2.31)$$

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \text{div}(\mu \cdot \text{grad}.v) + S_{My} \dots \dots \dots (2.32)$$

$$\rho \frac{Dw}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \text{div}(\mu \cdot \text{grad}.w) + S_{Mz} \dots \dots \dots (2.33)$$

2.2.4.3 Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*)

Metode ini menggunakan fungsi bentuk sederhana (linier atau kuadrat) pada elemen yang menggambar variasi variable aliran. Persamaan pengendali dapat dipenuhi dengan penyelesaian secara eksak. Jika perkiraan persamaan tersebut tidak terpenuhi maka akan terjadi sisa (residual) yang dapat dikukur kesalahannya. Kemudian sisa tersebut diminimumkan dengan cara mengalikannya dengan fungsi berat dan pengintegralan. Hasilnya adalah fungsi aljabar untuk koefisien yang tidak diketahui dari fungsi perkiraan.

2.2.4.4 Metode *Spectral*

Metode ini didekati dengan deret *fourier* atau deret *polynomial chesbyshev*. Metode ini dilakukan dengan pendekatan valid melalui *computational domain*, berbeda dengan metode beda hingga dan elemen hingga yang pendekatannya tidak lokal. Pada metode ini persamaan-persamaan yang tidak diketahui diturunkan ke dalam persamaan pengendali dengan fungsi deret.

2.2.4.5 Metode Volume Hingga (*Finite Volume Method*)

Metode ini dikembangkan dengan formulasi khusus metode beda hingga. Secara global, algoritma numerik yang dimiliki oleh metode beda hingga adalah dengan melakukan pengintegralan persamaan pengendali aliran fluida terhadap seluruh kontrol volume dari domain penyelesaian. Kemudian dilanjutkan dengan pendistribusian yang meliputi substitusi berbagai pendekatan beda hingga dari suku-suku persamaan yang diintegrasikan tersebut. Sehingga menggambarkan proses aliran seperti konveksi, difusi dan source. Pada tahap ini setiap persamaan integral akan diubah menjadi persamaan aljabar. Setelah ini persamaan-persamaan aljabar akan diselesaikan dengan metode iterasi.

CFD code meliputi teknik-teknik pendiskritan yang cocok untuk menyelesaikan fenomena perpindahan, konveksi (akibat aliran fluida) dan difusi (akibat adanya perbedaan antara satu titik dengan titik lainnya), serta source (berhubungan dengan muncul dan hilangnya). Kekekalan variabel aliran dalam *finite control volume* dapat diekspresikan dengan persamaan keseimbangan bahwa perubahan dalam kontrol volume terhadap waktu sama dengan penjumlahan perubahan dari konveksi ke dalam kontrol volume, dan difusi ke dalam kontrol volume serta perubahan ke dalam kontrol volume.

2.2.5 Simulasi CFD

CFD menerapkan perhitungan yang dikhususkan pada fluida beserta perilakunya mulai dari aliran fluida, heat transfer dan reaksi kimia yang terjadi pada fluida. Atas prinsip-prinsip dasar mekanika fluida, konservasi energi, momentum dan hukum kekekalan massa, perhitungan CFD dapat dilakukan. Secara sederhana proses perhitungan CFD dapat diawali dengan mendefinisikan suatu model menjadi elemen-elemen kecil. Setiap elemen yang terbentuk akan dikontrol dengan menggunakan konsep persamaan dinamika fluida. Seperti pada persamaan matematis lainnya, persamaan dinamika fluida memerlukan variabel inputan untuk mendapatkan suatu nilai hasil. CFD memanfaatkan kondisi batas (*boundary condition*) pada domain fluida sebagai variabel inputan guna menjalankan persamaan tersebut. Sebagai contoh, ketika suatu model yang akan dianalisis melibatkan temperatur maka perhitungan yang dilakukan akan menggunakan persamaan *energy* atau konversi dari *energy* tersebut. Sehingga dapat dikatakan bahwa inisialisasi awal dari persamaan dinamika fluida adalah *boundary condition*.

Persamaan dasar dinamika fluida pada CFD

Pada dasarnya semua jenis CFD menggunakan persamaan dasar (*governing equation*) dinamika fluida yaitu persamaan kontinuitas, momentum dan energi. Persamaan-persamaan ini merupakan pernyataan matematis untuk tiga prinsip dasar fisika:

1. Hukum kekekalan massa
2. Hukum kedua newton
3. Hukum kekekalan *energy*

Untuk mendapatkan persamaan dasar gerak fluida, filosofi berikut selalu diikuti:

1. Memilih prinsip fisika dasar dari hukum-hukum fisika (hukum kekekalan massa, hukum kedua newton, hukum kekekalan energi).
2. Menerapkan prinsip-prinsip fisika di dalam model aliran. Dari penerapan, diuraikan persamaan matematis yang meliputi prinsip-prinsip fisika dasar.

Adapun beberapa keuntungan yang diperoleh dengan menggunakan software antara lain:

1. Meminimalkan waktu dan biaya dalam mendesain suatu produk, bila proses desain tersebut dilakukan dengan uji eksperimen dengan akurasi tinggi.
2. Memiliki kemampuan sistem studii yang dapat mengendalikan percobaan yang sulit atau tidak mungkin dilakukan melalui eksperimen.
3. Memiliki kemampuan untuk studi dibawah kondisi berbahaya pada saat atau sesudah melewati titik kritis (termasuk studi keselamatan dan skenario kecelakaan).
4. Keakuratan akan selalu dikontrol dalam proses desain.

Aplikasi dari *software* untuk penyelesaian masalah aliran pada kapal telah mengalami kemajuan cukup pesat pada akhir-akhir ini. Bahkan pada saat ini teknik *software* merupakan bagian dari proses desain dalam diagram spiral perencanaan. Dengan *software* memungkinkan untuk memprediksi fenomena aliran fluida yang jauh lebih kompleks dengan berbagai tingkat akurasi. Dalam desain kerjanya, problem yang ada perlu dideskripsikan ke dalam software dengan menggambarkan model yang akan dianalisis, sifat-sifat fluida yang ada di sekitar model dan juga penentuan kondisi batasnya. Selanjutnya dalam *solver problem* yang akan dihitung. Dari hasil perhitungann kemudian didapatkan hasil *output* ari *running program*.

Secara umum proses simulasi dengan menggunakan CFD dapat dibagi menjadi 3 macam, yaitu *pre processor*, *solver manager* dan *post processor* yang akan dijelaskan secara rinci sebagai berikut:

1. *Pre processor*

Proses ini dapat dimulai dengan membuat model yang akan dianalisis, kemudian dilanjutkan dengan pendefinisian domain dan kondisi batas. Pada tahap ini model beserta ruangan yang akan dianalisis dibagi-bagi sejumlah *grid* tertentu atau juga disebut dengan *meshing*.

Pada tahap awal pemrograman ini terdiri dari input masalah aliran untuk *software* melalui *interface* kemudian mengubahnya menjadi bentuk yang sesuai dengan format yang dikehendaki oleh bagian *solver*. Pada tahap ini perlu dilakukan input permasalahan dengan aturan pada *software* meliputi:

- a. Membentuk geometri benda dan daerah sekeliling benda sebagai domain komputasi
- b. Membentuk *grid generation* atau membagi domain yang telah ditentukan menjadi bagian yang lebih kecil
- c. Penentuan fenomena fisika dan kimia model
- d. Penentuan sifat-sifat fluida(*boundary condition*), seperti pendefinisian harga densitas, kekentalan, suhu, dll
- e. Penentuan kondisi batas model geometri, lokasi pembuatan kondisi batas harus ditentukan baik pada daerah sekeliling benda maupun pada aliran yang diperhitungkan
- f. Penentuan besar kecilnya atau kekasaran *grid*.

Analisis masalah aliran yang berupa kecepatan, tekanan atau suhu didefinisikan sebagai suatu daerah yang berupa simpul-simpul tiap *cell*. Jumlah *cell* dalam *grid (mesh)* menentukan akurasi penyelesaian *software*. Pada umumnya semakin banyak *cell* semakin akurat hasilnya. Namun hal ini tidak selamanya berlaku, pada skala tertentu penambahan *cell* tidak mempengaruhi hasil dari analisis. Oleh karena itu pengguna *software* untuk menentukan jumlah *cell* atau elemen yang optimum. Daerah yang memiliki perubahan bentuk yang sangat tajam, biasanya proses *meshing*

dilakukan dengan sangat halus, sedang untuk daerah yang lain dilakukan dengan sedikit lebih kasar.

2. *Solver manager*

Pada tahap ini dilakukan perhitungan data-data input dengan persamaan yang terlibat secara iteratif, artinya perhitungan dilakukan hingga hasil menuju error terkecil atau hingga mencapai nilai konvergen. Perhitungan dilakukan secara menyeluruh terhadap kontrol volume dengan proses integrasi persamaan diskrit.

Solver dapat dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu *finite difference*, *finite element* dan *finite volume*. Secara umum metode numeric solver tersebut terdiri dari langkah-langkah sebagai berikut:

- a. Perkiraan variabel yang tidak diketahui dengan menggunakan fungsi sederhana
- b. Pendeskritan dengan substitusi perkiraan-perkiraan tersebut dengan persamaan-persamaan aliran yang berlaku dan berbagai manipulasi matematika.
- c. Penyelesaian dari persamaan aljabar metode finite volume. *Finite volume* digunakan pada berbagai code CFD komersil seperti : PHOENICS, CFX, FLUENT, NUMECA, FLOW3D dan STARCD.

Pada tahap ini input dari boundary condition sangat diperlukan guna menterjemahkan elemen-elemen beserta kondisinya agar dapat dimengerti oleh *software* sehingga perhitungan dapat dilaksanakan.

1. Massa dan momentum

Momentum yang terjadi pada aliran fluida yang dipengaruhi oleh massa dan kecepatan vector kecepatan U, V , dan W . arah yang diambil dalam perlakuan terhadap boundary adalah arah normal terhadap domain. Komponen kecepatan aliran (*Cartesian Velocity Vector*) adalah dengan resultan:

$$\text{Kecepatan inlet } \mathbf{U}_{inlet} = U_{spec^i} + V_{spec^j} + W_{spec^k} \dots \dots \dots (2.34)$$

$$\text{Kecepatan outlet } \mathbf{U}_{inlet} = U_{spec^i} + V_{spec^j} + W_{spec^k} \dots \dots \dots (2.35)$$

2. Tekanan

$$\text{Tekanan inlet } P_{tot} = P_{stat} \dots \dots \dots (2.36)$$

$$\text{Tekanan outlet } P_{tot} = P_{stat} + \frac{\rho U^2}{2} \dots \dots \dots (2.37)$$

$$\text{Tekanan statis rata – rata } P_{av} = P dA \int P dA \dots \dots \dots (2.38)$$

3. *Post Processor (Analyse and Visualized)*

Hasil perhitungan diinterpretasikan ke dalam gambar, grafik dan animasi dengan pola-pola tertentu. Pada step ini akan ditampilkan hasil perhitungan yang telah dilakukan pada tahap sebelumnya, hasil perhitungan dapat dilihat berupa data numerik dan data visual aliran fluida pada model. Data numerik yang diambil adalah data nilai variabel sifat fluida yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

- a. *Density*
- b. Kekentalan *density*
- c. Eddy viscosity
- d. Koefisien perpindahan panas
- e. Nilai dari *mach*
- f. Tekanan
- g. Tekanan *gradient*
- h. *Shear strain rate*
- i. *Specific capacity heat transfer rate*
- j. Entalpi statis
- k. Suhu
- l. Termal *conductivity*
- m. Total entalpi
- n. Total suhu
- o. Total tekanan
- p. Turbulen *energy kinetic*
- q. Kecepatan
- r. *Wall heat flux*
- s. Gaya gesek

t. Koordinat

Dan data visual model yang bias ditampilkan oleh *post processor* adalah sebagai berikut:

- a. Gambar *geometry*
- b. Gambar *surface* sifat fluida
- c. Animasi aliran fluida
- d. Tampilan vektor kecepatan
- e. Gerakan rotasi, translasi dan penyekalan
- f. Arah aliran fluida
- g. *Hardcopy output*

Dalam proses *set-up* dan *running* simulasi ada tahapan identifikasi dan formulasi permasalahan aliran dengan pertimbangan fenomena fisika dan kimia. Pemahaman yang cukup baik diperlukan dalam penyelesaian algoritma penyelesaian numerik. Ada 3 konsep matematika yang digunakan dalam menentukan keberhasilan algoritma (AIAA, 1998) yaitu:

1. Konvergensi, yaitu *property* metode numerik untuk menghasilkan penyelesaian eksakta sebagai spacing, ukuran kontrol volume atau ukuran elemen dikurangi mendekati nol. konvergensi biasanya sulit untuk didapatkan secara teoritis. untuk kondisi lapangan kesamaan Lax yang menyatakan bahwa untuk permasalahan linier memerlukan konvergensi.
2. Konsistensi, yaitu urutan numerik untuk menghasilkan sistem persamaan aljabar yang dapat diperlihatkan sama dengan persamaan pengendalli sebagai jarak *grid* mendekati nol.
3. Stabilitas, yaitu penggunaan faktor kesalahan sebagai indikasi metode numeric. Jika sebuah teknik tidak stabil dalam setiap kesalahan pembuatan path data awal maka dapat menyebabkan terjadinya osilasi atau divergensi.

CFD memberikan hasil fisik yang realistic dengan akurasi yang baik path simulasi dengan *grid* berhingga. Ada 3 sifat *finite volume*, yaitu *conservativeness*,

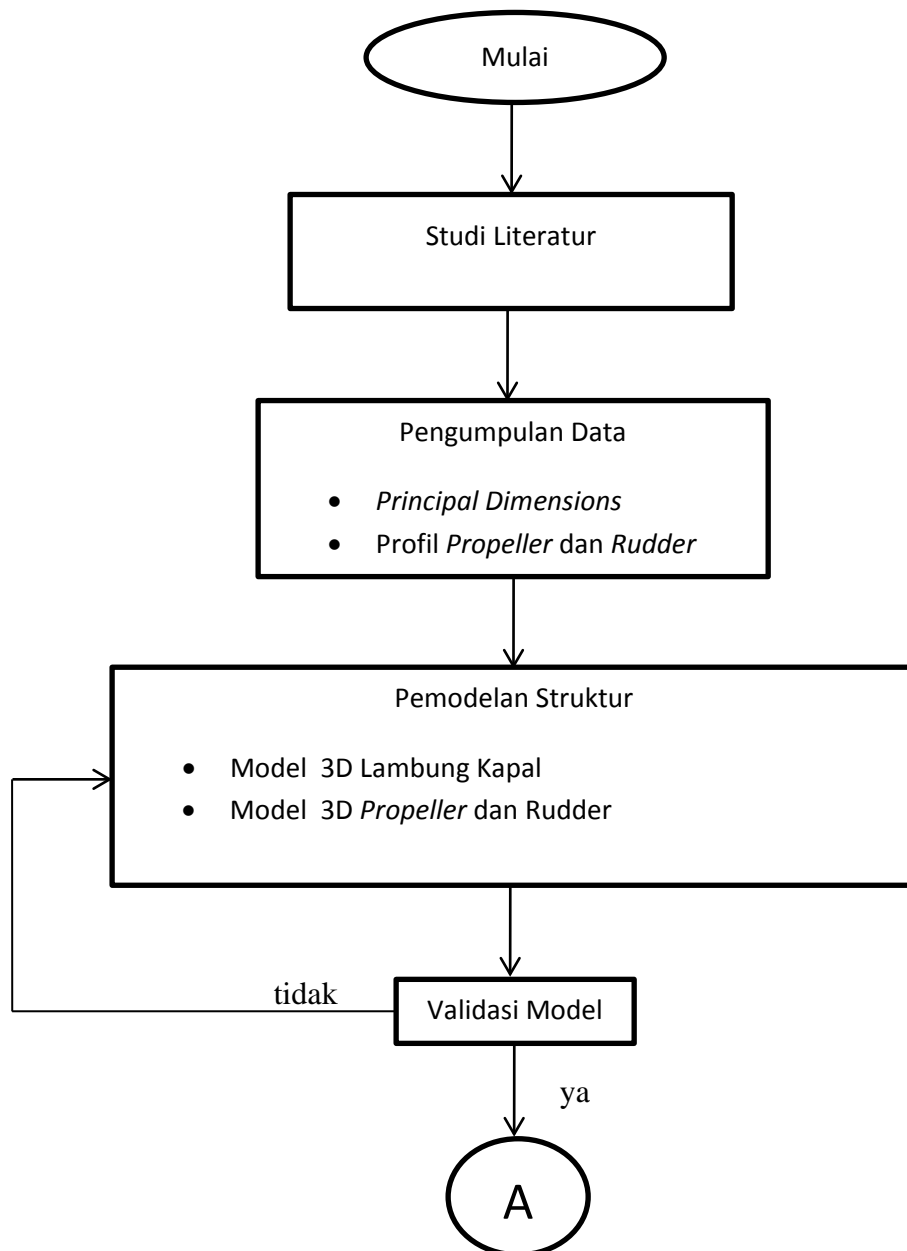
boundedness, dan *transportiveness*. Ketiganya didesain menjadi bagian berhingga yang dapat menunjukkan keberhasilan simulasi CFD. Disamping itu ketiganya umumnya digunakan sebagai alternatif untuk konsep matematika yang akurat. Skema numerik memiliki sifat *conservativeness* yang dapat mempertahankan kekekalan sifat-sifat fluida secara global untuk seluruh domain penyelesaian. Pendekatan volume hingga dapat menjamin tetap berlangsungnya kekentalan *property* fluida CFD untuk tiap control volume. proses aliran terdiri dari 2, yaitu konveksi dan difusi. Keduanya dapat dihitung pengaruh arahnya dengan bagian *finite* volume, yaitu *transportiveness*. Sedangkan *boundedness* dapat mempertahankan kestabilan suatu metode numerik.

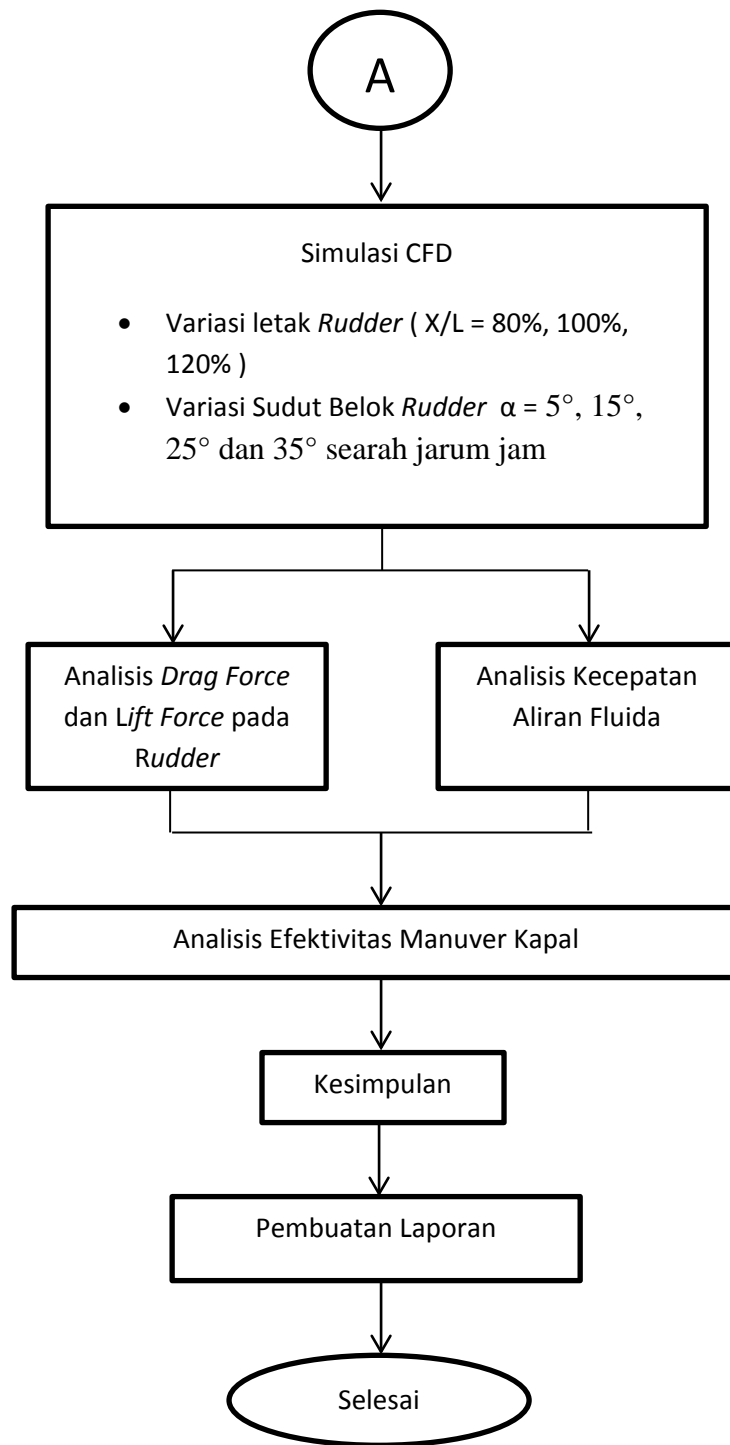
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian yang dipakai untuk penyelesaian Tugas Akhir ini secara lengkap dapat dilihat pada diagram alir di bawah ini, dengan tahapan-tahapan sebagai berikut:





Gambar 3.1 Diagram alir pengerjaan tugas akhir

3.2 LANGKAH Pengerjaan

3.2.1 Studi Literatur dan Pengumpulan Data

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan publikasi ilmiah dari literatur terbuka, yang relevan untuk dijadikan acuan dalam penelitian ini. Literatur terbuka yang didapat diperoleh dari buku-buku yang berhubungan dengan proses penelitian dan jurnal-jurnal penelitian yang berhubungan dengan penelitian ini, seperti teori dasar kemudi, dimensi model kemudi, gaya yang bekerja pada kemudi, tahanan kapal serta CFD (*Computational Fluid Dynamics*)

Desain kapal cepat yang dibuat dalam Tugas Akhir ini mengacu pada data Kapal Cepat Rudal 60 meter yang dipublikasikan oleh PT.PAL Indonesia tahun 2014.



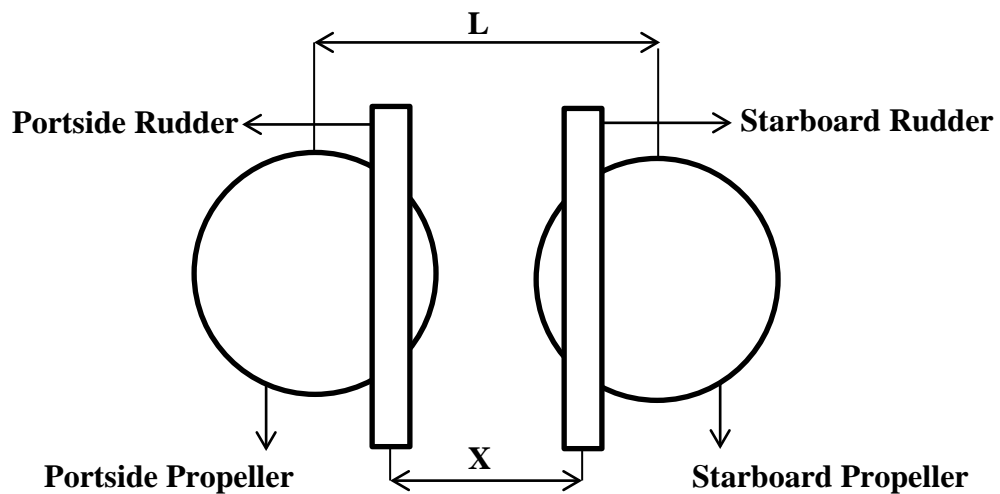
Gambar 3.2 Kapal perang KCR-60M

3.2.2 Pemodelan Struktur

Data yang diperoleh dari studi literatur digunakan untuk membuat model struktur. Model struktur yang dibuat meliputi lambung kapal, *propeller*, *rudder*. Lambung kapal dimodelkan dengan memperhatikan parameter *principal dimensions* kapal seperti LOA (*Length Over All*), LWL (*Length Water Line*), T (*Draft*), B (*Breadth*), Cb (Koefisien blok), Vs (Kecepatan Dinas) dan *Displacement*. *Propeller* dimodelkan berdasarkan data ukuran utamanya yang meliputi profil/tipe, diameter, *expanded bar*, *pitch ratio*, tipe rotasi dan jumlah *blade*. Sedangkan pada *rudder* dimodelkan berdasarkan ukuran utamanya yang hanya meliputi profil, bentuk dan tipe *rudder*.

3.2.3 Simulasi CFD

Pada tahap ini model *propeller* dan *rudder* yang telah dibuat dan membuat variasinya maka langkah selanjutnya adalah melakukan simulasi CFD. Letak *rudder* divariasikan dengan cara memindahkan posisinya. Jarak antar *rudder* dinotasikan X , sedangkan jarak antar poros *propeller* dinotasikan L . Untuk mengetahui seberapa besar perubahan gaya dan kecepatan yang dihasilkan maka sudut belok *rudder* juga divariasikan. Variasi X/L diterapkan dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah 80%, 100% dan 120%. Dalam setiap variasinya *rudder* membentuk sudut 5° , 15° , 25° , dan 35° searah jarum jam. Hasil simulasi yang dapat diambil adalah adanya *drag force*, *lift force* dan kecepatan aliran fluida, yang menjadi aspek penting dalam analisis efektivitas manuver kapal.



Gambar 3.3 Ilustrasi 2D tampak depan *propeller* dan *rudder*

3.2.4 Analisis Efektivitas Manuver

Dari proses simulasi yang sudah dilakukan, maka dapat diketahui besaran-besaran yang ingin diketahui dalam hal ini adalah *drag force* dan *lift force* pada *rudder*, serta distribusi kecepatan aliran fluida yang dihasilkan. Dengan adanya variasi posisi dan sudut *rudder* jelas akan menghasilkan distribusi gaya dan kecepatan aliran dan yang berbeda pula. Maka dengan membandingkan distribusinya dapat diketahui dimana posisi *rudder* yang memiliki tingkat efektivitas manuver terbaik.

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

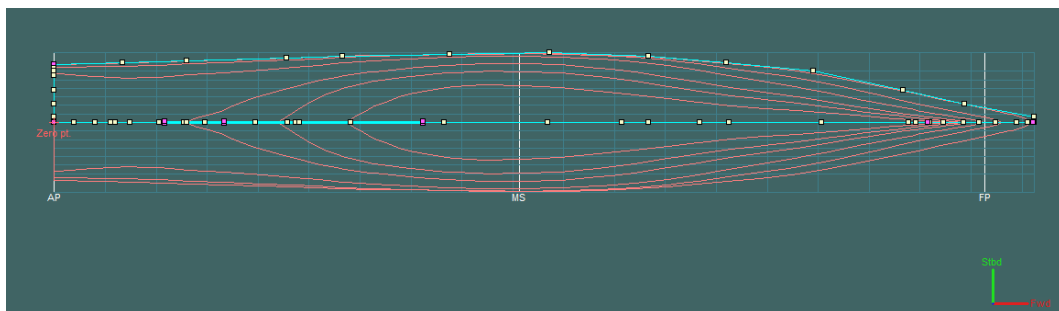
4.1 PEMODELAN STRUKTUR

Pada tahap ini dilakukan pemodelan struktur unruk dianalisis pada tahap selanjutnya. Adapun model struktur yang dibuat berjumlah 3, yaitu lambung kapal, *propeller* dan *rudder*. Model yang sudah dibuat akan disatukan menjadi satu model struktur dengan variasi yang telah ditentukan sebelumnya, yaitu 3 variasi posisi *rudder* dengan masing-masing variasi sudutnya.

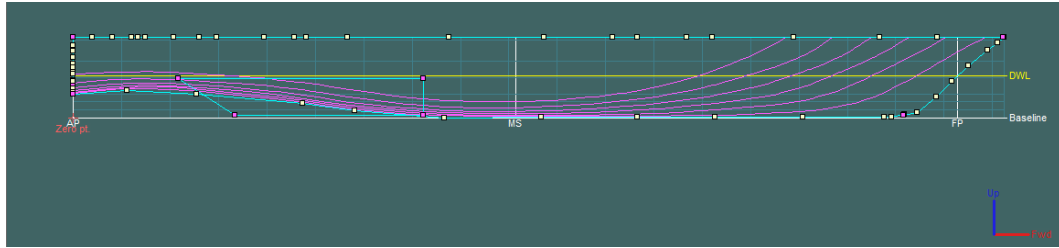
4.1.1 Lambung Kapal

Principal dimensions

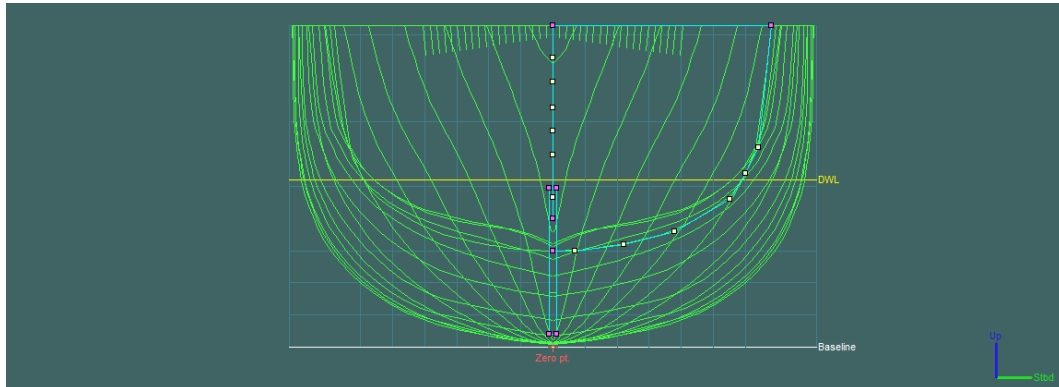
- LOA = 59.80 m
- LWL = 54.82 m
- T = 2.60 m
- H = 4.85 m
- B = 8.10 m
- Cb = 0.39
- Vs = 28 Knot
- *Displacement* = 460 ton



Gambar 4.1 Model lambung kapal tampak atas



Gambar 4.2 Model lambung kapal tampak samping



Gambar 4.3 Model lambung kapal tampak depan

Untuk memastikan bahwa model lambung kapal yang dibuat sesuai dengan yang sebenarnya maka perlu adanya validasi model. Validasi yang digunakan adalah dengan membandingkan hasil perhitungan hidrostatis dengan data referensi ukuran utama yang telah didapat sebelumnya. Validasi dinyatakan memenuhi apabila selisih antara nilai model dan referensi tidak lebih dari 5%.

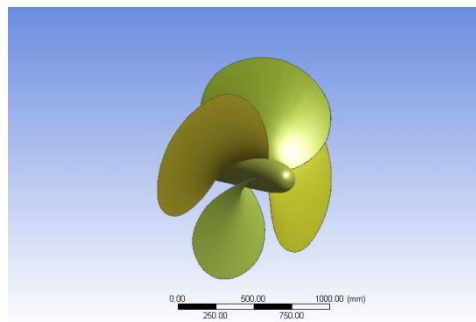
Tabel 4.1 Validasi model lambung kapal

Measurement	Value		Units	Selisih (%)	Keterangan
	Model	Referensi			
LOA	59.800	57.700	m	3.512	OK
LWL	54.820	54.822	m	0.004	OK
B	8.100	8.131	m	0.381	OK
H	4.850	4.968	m	2.375	OK
Cb	0.390	0.409		4.645	OK
Displacement	460.000	462.000	tonne	0.433	OK

4.1.2 *Popeller*

Ukuran utama *propeller*

- Profil *Propeller* = *Gawn*
- Diameter = 1.5 m
- AE/A0 = 1
- *Pitch ratio* = 0.954
- *Rotation* = *right (starboard)*, *left (portside)*
- Total *Blade* = 4
- *Revolution* = 3000 RPM

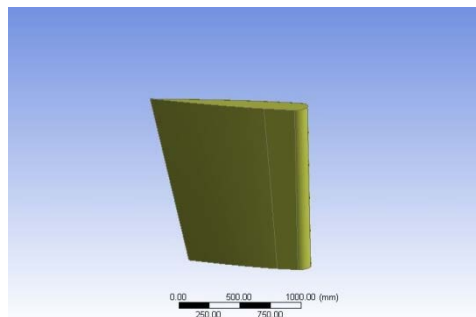


Gambar 4.4 Model left hand *propeller*

4.1.3 *Rudder*

Ukuran utama *rudder*

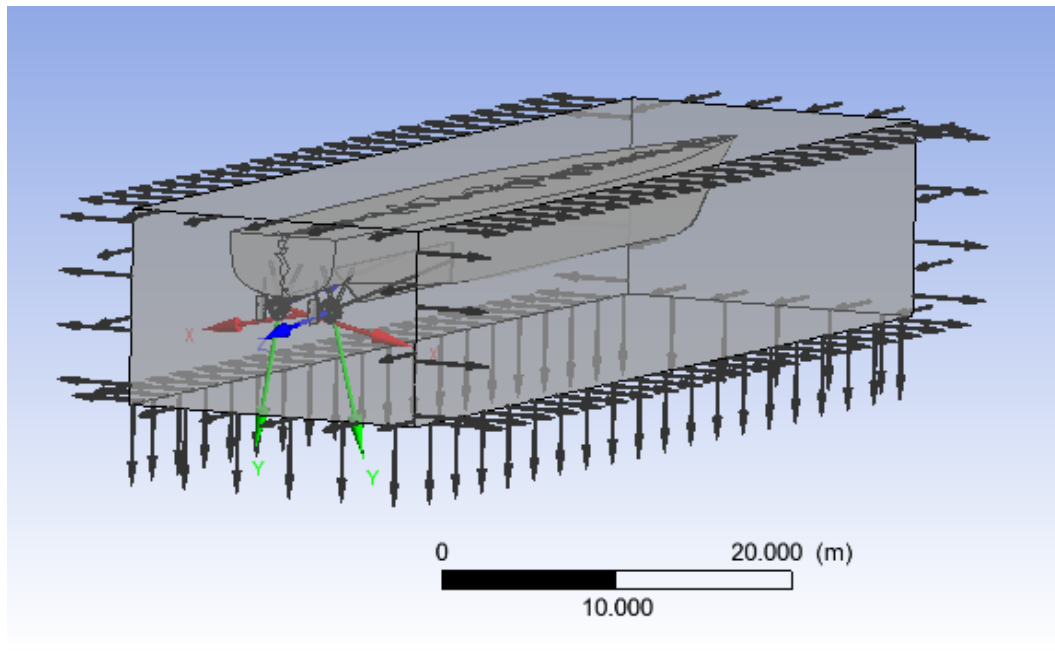
- Profil *Rudder* = *Flatsided*
- Bentuk = *Spade Rudder*
- Tipe = *Balancir*



Gambar 4.5 Model *rudder*

4.2 SIMULASI CFD

Model struktur yang dibuat sebelumnya akan disimulasikan pada *software* dengan metode CFD. Simulasi yang dibuat adalah sebuah kapal yang memiliki dua *propeller* dengan kecepatan putar 3000 rpm melaju di perairan tenang. Laju kapal disimulasikan dengan air yang bergerak lurus konstan dari haluan menuju buritan sesuai dengan kecepatan dinas kapal.



Gambar 4.6 *Setup* simulasi pada *software*

Adapun pengaturan dari simulasi adalah sebagai berikut:

Tabel 4.2 *Analysis type*

<i>Analysis Type</i>	
<i>Option</i>	<i>Transient</i>
<i>Time Duration</i>	
<i>Option</i>	<i>Total Time</i>
<i>Total Time</i>	<i>10 second</i>
<i>Time Steps</i>	
<i>Option</i>	<i>Timesteps</i>
<i>Timesteps</i>	<i>5 second</i>

<i>Initial Time</i>	
<i>Option</i>	<i>Value</i>
<i>Time</i>	<i>0 second</i>

Pada *analysis type* dipilih *option transient* yang merupakan kondisi berdasarkan sifat-sifat dari suatu *system* berubah terhadap waktu dengan *total time*, *timesteps* dan *initial time* yang ditentukan. Pada simulasi ini ditetapkan total time sebesar 10 detik karena memperhitungkan kecepatan dinas dan LOA (*Length Over All*) kapal. Dengan parameter kecepatan dinas kapal 28 knot dan LOA 59.80 m, maka dalam waktu 10 detik aliran fluida dari haluan sudah mencapai buritan

Tabel 4.3 *Domain water*

<i>Fluid</i>	
<i>Material</i>	<i>Water</i>
<i>Morphology</i>	
<i>Option</i>	<i>Continuous Fluid</i>
<i>Domain Models</i>	
<i>Reference Pressure</i>	<i>1 atm</i>
<i>Buoyancy Model</i>	
<i>Option</i>	<i>Non Buoyant</i>
<i>Domain Motion</i>	
<i>Option</i>	<i>Stationary</i>
<i>Mesh Deformation</i>	
<i>Option</i>	<i>Regions of Motion Specified</i>
<i>Displacement Rel. To</i>	<i>Previous Mesh</i>

Domain water didefinisikan sebagai material *water* dan *continuous fluid* dengan *reference pressure* 1 atm karena tinggi sarat air pada kapal berada pada *range* kedalaman air laut 0 – 10 meter. Gerakan *domain* didefinisikan sebagai *stationary* karena arah aliran berimpit dengan garis aliran yang dilalui. *Regions of motion specied* untuk memenuhi simulasi *propeller* yang berputar.

Tabel 4.4 *Domain hull*

<i>Type</i>	
<i>Domain Type</i>	<i>Immersed Solid</i>
<i>Domain Motion</i>	
<i>Option</i>	<i>Stationary</i>

Hull (lambung kapal) didefinisikan sebagai benda solid yang tercelup air (*immersed solid*) dan tetap diam ditempat (*stationary*) walau terkena beban fluida.

Tabel 4.5 *Domain propellers (portside dan starboard)*

<i>Type</i>	
<i>Domain Type</i>	<i>Immersed Solid</i>
<i>Domain Motion</i>	
<i>Option</i>	<i>Rotating</i>
<i>Angular Velocity</i>	3000 rpm

Propellers didefinisikan sebagai benda solid yang tercelup air (*immersed solid*) yang berputar (*rotating*) dengan kecepatan putar 3000 rpm. Putaran *propeller* ini menyebabkan arus yang besar sehingga fluida dari haluan bergerak menuju buritan dan mendorong kapal melaju ke arah depan.

Tabel 4.6 *Domain rudders (portside dan starboard)*

<i>Type</i>	
<i>Domain Type</i>	<i>Immersed Solid</i>
<i>Domain Motion</i>	
<i>Option</i>	<i>Stationary</i>

Rudders didefinisikan sebagai benda solid yang tercelup air (*immersed solid*) dan tetap diam ditempat (*stationary*) walau terkena beban fluida.

Tabel 4.7 *Boundary condition: inlet*

<i>Flow Regime</i>	
<i>Option</i>	<i>Subsonic</i>
<i>Mesh Motion</i>	
<i>Option</i>	<i>Stationary</i>
<i>Mass and Momentum</i>	
<i>Option</i>	<i>Normal Speed</i>
<i>Normal Speed</i>	<i>28 knot</i>

Simulasi ini kapal dimodelkan diam di tempat sedangkan fluida melaju dan menabrak *hull* dari haluan dengan kecepatan konstan 28 knot. Maka dalam simulasi ini dibentuk *boundary condition inlet* sebagai pintu masuknya fluida dalam *domain water* dengan kecepatan yang telah ditentukan sebelumnya. *Boundary condition inlet* adalah sisi depan dari *domain water*.

Tabel 4.8 *Boundary condition outlet dan samping*

<i>Flow Regime</i>	
<i>Option</i>	<i>Subsonic</i>
<i>Mesh Motion</i>	
<i>Option</i>	<i>Stationary</i>
<i>Mass and Momentum</i>	
<i>Option</i>	<i>Static Pressure</i>
<i>Relative Pressure</i>	<i>1 atm</i>

Boundary condition outlet adalah sisi belakang dari domain water sedangkan *boundary condition samping* adalah sisi kiri dan kanan dari *domain water*. Ketika fluida datang dari *boundary condition inlet* dan menabrak badan kapal, maka fluida yang ada dalam *domain water* akan terdorong ke bagian belakang kapal dan ada juga yang ke luar samping pada sisi kiri dan kanan *domain water*, maka dari itu dibentuk *boundary condition samping*. Begitu juga dengan fluida yang terdorong hingga ke *propeller* dan diteruskan hingga keluar ke belakang *domain water*, maka dari itu dibentuk *boundary condition outlet*.

Tabel 4.9 *Boundary condition wall*

<i>Mesh Motion</i>	
<i>Option</i>	<i>Stationary</i>
<i>Mass and Momentum</i>	
<i>Option</i>	<i>No Slip Wall</i>
<i>Wall Vel. Rel. To</i>	<i>Mesh Motion</i>
<i>Wall Roughness</i>	
<i>Option</i>	<i>Smooth Wall</i>

Wall merupakan pengaturan standar *boundary condition* untuk *domain water*.

Tabel 4.10 *Global initialization*

<i>Frame Type</i>	<i>Stationary</i>
<i>Initial Conditions</i>	
<i>Velocity Type</i>	<i>Cartesians</i>
<i>Cartesian Velocity Components</i>	
<i>U</i>	<i>0 m/s</i>
<i>V</i>	<i>0 m/s</i>
<i>W</i>	<i>0 m/s</i>
<i>Static Pressure</i>	
<i>Option</i>	<i>Automatic with Value</i>
<i>Relative Pressure</i>	<i>1 atm</i>

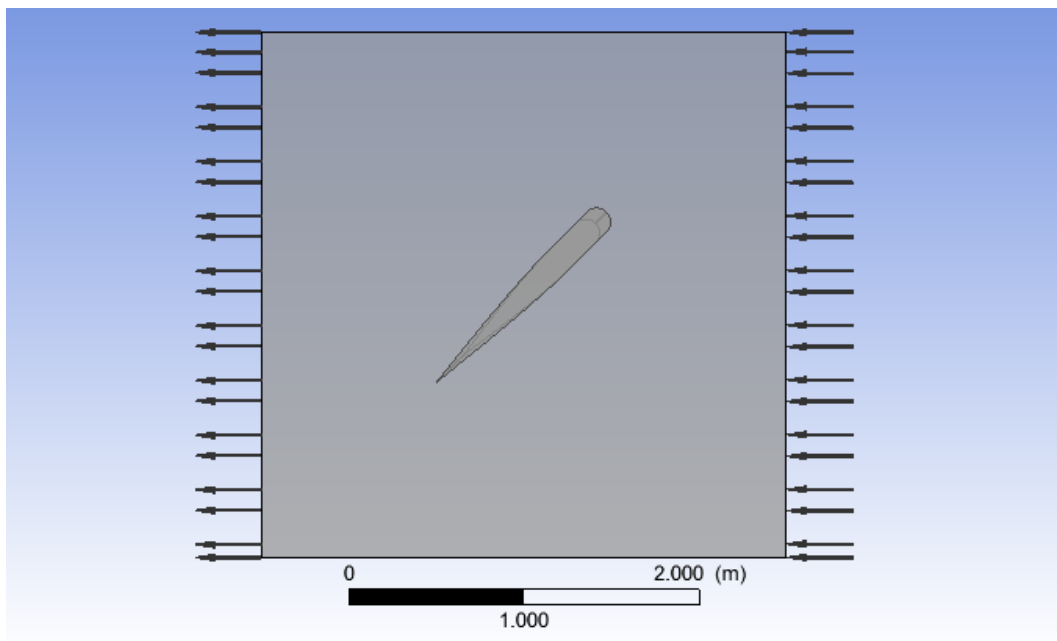
Simulasi dilakukan pada kondisi awal air tenang atau fluida air tidak bergerak dengan *relative pressure* 1 atm.

4.2.1 Validasi Software

Untuk memastikan hasil yang diperoleh dari *software* pada simulasi cfd sesuai dengan dasar teori yang sudah ada, maka perlu adanya validasi *software*. Validasi yang digunakan adalah dengan membandingkan nilai yang didapat dari perhitungan *software* dengan nilai yang didapat dari perhitungan manual berdasarkan persamaan pada buku *Principles of Naval Architecture Volume II* -

Propulsion yang telah dibahas pada bab sebelumnya. Validasi dinyatakan memenuhi apabila selisih antara nilai berdasarkan perhitungan *software* dan persamaan tidak lebih dari 5%.

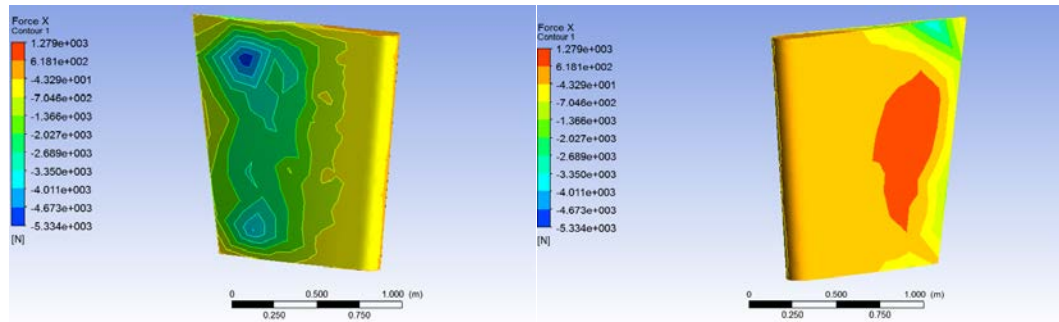
Pada dasar teori (*Principles of Naval Architecture Volume II - Propulsion*) dinyatakan bahwa nilai perbandingan antara *drag force* dan *lift force* pada *rudder* dengan *angle of attack* sebesar α nilainya sama dengan $\tan \alpha$. Maka dibuatlah simulasi dengan kondisi yang sama sesuai dengan dasar teori yaitu sebuah *rudder* diam ditabrak oleh aliran fluida berkecepatan 28 knot dengan *angle of attack* sebesar 45° seperti yang dilihat pada gambar 4.7.



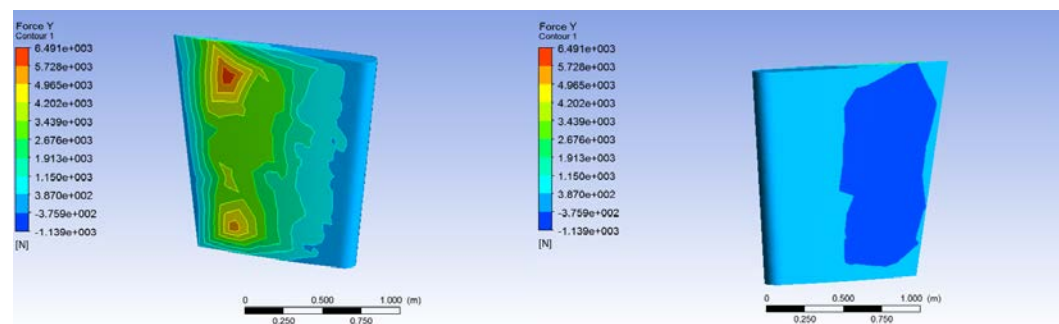
Gambar 4.7 *Setup* simulasi untuk validasi *software*

Berdasarkan kondisi yang dibuat seperti gambar 4.7, maka hasil simulasi yang didapat menunjukkan bahwa sisi *rudder* yang terkena aliran fluida terlebih dahulu (sisi kiri) mendapat gaya yang lebih besar dari sisi sebaliknya (sisi kanan) yang membelakangi laju aliran fluida. Seperti terlihat pada gambar 4.8 sisi kiri *rudder* menerima beban gaya x (*drag force*) dengan nilai maksimal 5334 N sedangkan pada sisi kanan menerima beban gaya x dengan nilai maksimal 1279 N. Hal yang sama juga terjadi pada beban gaya y (*lift force*) yakni sisi kiri *rudder* menerima gaya yang lebih besar dengan nilai maksimal 6491 N sedangkan sisi kanan

menerima beban gaya y dengan nilai maksimal 1139 N seperti yang terlihat pada gambar 4.9.

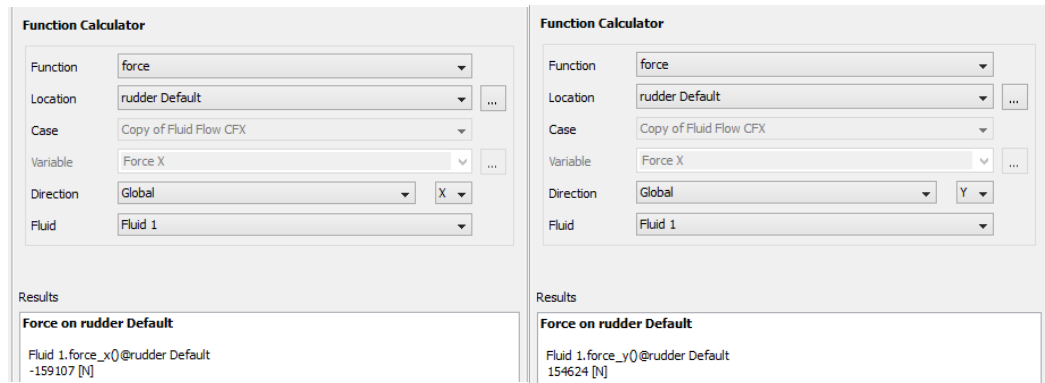


Gambar 4.8 *Drag force* pada *rudder*



Gambar 4.9 *Lift force* pada *rudder*

Berdasarkan persamaan yang didapat dari buku *Principles of Naval Architecture Volume II – Propulsion*, nilai yang dipakai untuk menghitung perbandingan antara *drag force* dan *lift force* adalah nilai dari masing-masing total gaya yang ada pada *rudder* baik dari *drag force* maupun *lift force*. Untuk mendapat nilai total *force rudder* yang diinginkan pada *software* dipilih menu *function calculator* dan pilih *direction x* untuk *drag force* dan *direction y* untuk *lift force*. Berdasarkan gambar dapat dilihat bahwa total drag force rudder sebesar 159107 N sedangkan total lift force rudder sebesar 154624 N.



Gambar 4.10 Total nilai *drag force* dan *lift force* pada *rudder*

Berdasarkan persamaan dari buku *Principles of Naval Architecture Volume II – Propulsion*

$$\tan(\alpha) = \frac{\text{drag force}}{\text{lift force}} = \frac{\text{coefficient of drag}}{\text{coefficient of lift}}$$

Maka,

berdasarkan perhitungan manual dengan $\alpha = 45^\circ$

$$\tan(45) = 1$$

berdasarkan nilai *drag force* dan *lift force* yang didapat dari perhitungan *software*

$$\frac{\text{drag force}}{\text{lift force}} = \frac{159107 \text{ N}}{154624 \text{ N}} = 1.028993$$

selisih antara kedua nilai di atas

$$\frac{1.028993 - 1}{1.028993} \times 100\% = \frac{0.028993}{1.028993} = 2.82\%$$

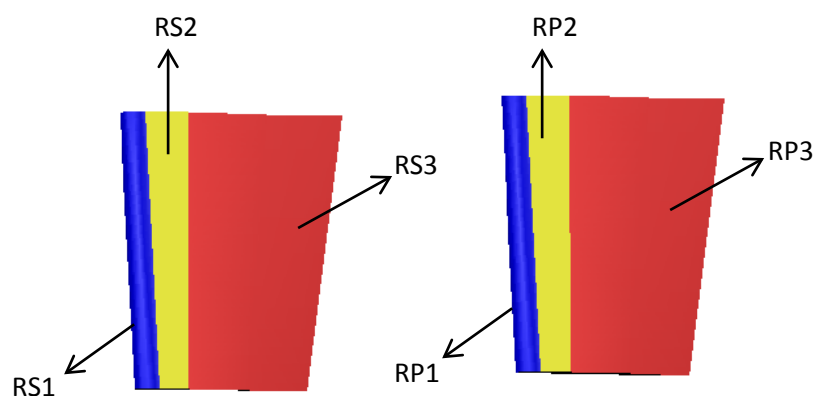
Karena selisih antara kedua nilai kurang dari 5% maka validasi *software* dinyatakan ok.

4.3 ANALISIS *DRAG FORCE* DAN *LIFT FORCE* DENGAN VARIASI POSISI *RUDDER*

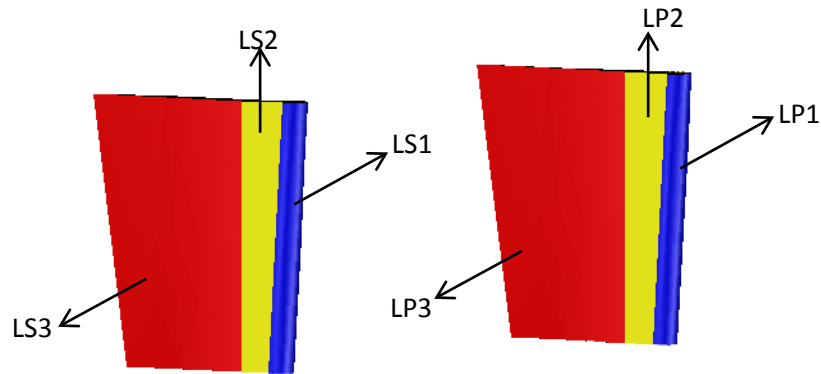
Pada tahap ini dilakukan *running software* berdasarkan *setup* simulasi yang ada pada subbab sebelumnya. Kondisi simulasi yang dibuat berdasarkan 3 variasi posisi *rudder* dengan masing-masing sudutnya yaitu 5° , 15° , 25° dan 35° searah jarum jam. Setelah semua proses *running software* telah dilakukan maka tahap selanjutnya adalah menganalisa hasil dari *running software* tersebut.

Analisa pada subbab ini meliputi analisa nilai *drag force* dan *lift force* pada *rudder* akibat aliran fluida yang berasal dari *propeller* kapal. Untuk memperjelas hasil analisa, maka setiap *rudder* terbagi atas 8 *surface* (bagian atas, bagian bawah, 3 bagian kiri, 3 bagian kanan). Karena bagian atas dan bawah *rudder* sangat kecil dampaknya, maka dalam analisa dapat diabaikan. Seperti pada gambar 4.11 dan gambar 4.12, setiap *rudder* memiliki 6 *surface* yang akan dianalisa dengan total ada 12 (2 *rudder*). Masing-masing *surface* dinotasikan berdasarkan namanya (*Right Starboard*) RS1, RS2, RS3, (*Right Portside*) RP1, RP2, RP3, (*Left Starboard*) LS1, LS2, LS3, (*Left Portside*) LP1, LP2 dan LP3.

Karena setiap *surface* memiliki bentuk dan posisi terhadap arah datang fluida yang berbeda, maka nilai *drag force* dan *lift force* yang dimiliki tiap *surface* juga menjadi berbeda. Besarnya nilai *drag force* dan *lift force* dapat dilihat pada tabel 11 hingga tabel 17.



Gambar 4.11 *Left starboard* dan *left portside rudder*



Gambar 4.12 *Right starboard dan right portside rudder*

Tabel 4.11 *Drag force dan lift force pada left portside rudder*

VARISASI	SUDUT (DEG)	DRAG FORCE (N)				LIFT FORCE (N)			
		LP1	LP2	LP3	TOTAL LP	LP1	LP2	LP3	TOTAL LP
X/L = 80%	5	51477	-10574	-48796	-7893	-79847	-30035	-89526	-199408
	15	15924	-13283	-51143	-48502	-27107	-49655	-132254	-209016
	25	20736	-34018	-116076	-129358	-54975	-71279	-202312	-328566
	35	19311	-63232	-260970	-304891	-82522	-89218	-300625	-472365
X/L = 100%	5	74345	-12245	-64433	-2333	-79388	-27818	-141135	-248341
	15	45562	-24366	-111745	-90549	-61614	-66920	-256247	-384781
	25	34479	-47213	-151317	-164052	-73344	-83527	-264225	-421096
	35	24749	-92738	-242334	-310322	-84429	-101512	-275094	-461035
X/L = 120%	5	88131	-15740	-76695	-4304	-17370	-48000	-124687	-190057
	15	58862	-30096	-116300	-87533	-20614	-73896	-242880	-337390
	25	48211	-72545	-188648	-212983	-30754	-104441	-205703	-340898
	35	18562	-74119	-196282	-251840	-59467	-106955	-221726	-388148

Karena simulasi yang dilakukan menetapkan sudut yang dibentuk *rudder* searah dengan jarum jam, maka *left portside rudder* berada membelakangi arah laju fluida dari *propeller* sehingga nilai *drag force* dan *lift force* relatif lebih rendah dari pada sisi yang menghadap langsung arah datang laju fluida. Sesuai yang terlihat pada tabel 4.11, pada *left portside rudder* didapat bahwa nilai *drag force* terbesar dimiliki oleh variasi X/L=100% pada sudut 35° dengan nilai -310322 N dan nilai *lift force* terbesar dimiliki oleh variasi X/L=80% pada sudut 35° dengan nilai -472365 N. Tanda minus pada nilai *drag force* dan *lift force* di atas menunjukkan bahwa arah gaya yang dihasilkan berlawanan dengan gaya yang digunakan kapal untuk melakukan manuver, maka dengan demikian *surface left portside rudder* untuk variasi X/L=120% lebih berdampak positif terhadap manuver kapal dari pada variasi yang lain karena nilainya relatif lebih kecil.

Tabel 4.12 *Drag force* dan *lift force* pada *right portside rudder*

VARISASI	SUDUT (DEG)	DRAG FORCE (N)				LIFT FORCE (N)			
		RP1	RP2	RP3	TOTAL RP	RP1	RP2	RP3	TOTAL RP
X/L = 80%	5	9269	10038	5622	24929	84411	42937	101261	228609
	15	27330	14497	25645	67472	15649	53599	194033	263282
	25	51904	38128	89542	179574	19119	81426	307835	408380
	35	81318	81978	225315	388610	13767	116250	514489	644506
X/L = 100%	5	51656	14579	-5342	60893	66916	60361	160609	287886
	15	71339	34762	48620	154720	40734	127891	311227	479852
	25	92062	68717	131018	291797	32185	145992	431111	609288
	35	124948	134072	277854	536874	21829	185274	570088	777191
X/L = 120%	5	72648	17974	-11865	78756	63982	101062	123831	288875
	15	101050	40378	36675	178103	57031	148900	288718	494649
	25	114445	86032	168221	368698	40128	181690	483974	705792
	35	144540	118897	299309	562746	26237	240320	650656	917213

Berdasarkan hasil running *software* yang telah dicatat pada tabel 4.12, pada *right portside rudder* didapat bahwa variasi X/L=120% merupakan variasi yang memiliki nilai *drag force* dan *lift force* terbesar. Pada sudut rudder 35°, nilai *drag force* mencapai 562746 N dan nilai *lift force* mencapai 917213 N. Hal ini disebabkan karena *surface right portside rudder* berada menghadap langsung laju aliran fluida sehingga beban gaya yang diterimapun besar.

Tabel 4.13 *Drag force* dan *lift force* pada *left starboard rudder*

VARISASI	SUDUT (DEG)	DRAG FORCE (N)				LIFT FORCE (N)			
		LS1	LS2	LS3	TOTAL LS	LS1	LS2	LS3	TOTAL LS
X/L = 80%	5	61430	-11693	-55661	-5924	-74383	-143906	-287303	-505592
	15	44908	-35950	-62751	-53793	-76125	-135212	-279148	-490485
	25	33914	-47669	-70459	-84214	-90258	-77508	-211387	-379153
	35	26445	-50159	-89064	-112778	-115235	-90230	-120226	-325691
X/L = 100%	5	71380	-11890	-67017	-7527	-80997	-131900	-239873	-452770
	15	46261	-27680	-76417	-57836	-76361	-101938	-196691	-374990
	25	34450	-49340	-101231	-116121	-90600	-103705	-172594	-366899
	35	22748	-61170	-133731	-172154	-99912	-85546	-154664	-340122
X/L = 120%	5	52960	-9934	-44246	-1220	-61798	-115920	-230773	-408491
	15	45145	-31821	-78034	-64711	-77717	-117546	-189333	-384596
	25	21667	-50398	-115062	-143793	-81241	-95890	-155791	-332922
	35	17988	-50698	-118613	-151323	-77665	-71713	-130884	-280262

Sama halnya seperti *left portside rudder* yang membelakangi laju aliran fluida, *left starboard rudder* juga membelakangi laju aliran fluida sehingga menghasilkan gaya yang relatif kecil seperti yang terlihat pada tabel 4.13. Berbeda dengan *surface* lainnya yang memiliki nilai *lift force* terbesar pada sudut 35°, *lift force* terbesar pada *surface left starboard rudder* tidak pada sudut 35°. Nilai *lift force*

terbesar dimiliki variasi X/L=80% pada sudut 5° dengan nilai mencapai -505592 N. Sedangkan pada *drag force* nilai terbesar dimiliki variasi X/L=100% sudut 35° dengan nilai -151323 N.

Tabel 4.14 *Drag force* dan *lift force* pada *right starboard rudder*

VARISASI	SUDUT (DEG)	DRAG FORCE (N)				LIFT FORCE (N)			
		RS1	RSL2	RS3	TOTAL RS	RS1	RS2	RS3	TOTAL RS
X/L = 80%	5	74788	11773	-3227	83334	62237	137771	326355	526363
	15	78717	20220	64799	163737	57670	193757	297360	548787
	25	101308	53234	88281	242822	37136	214403	342159	593698
	35	94979	65010	164284	324273	14177	292909	348373	655459
X/L = 100%	5	82779	16705	-6654	92829	69226	127773	277198	474197
	15	73691	39665	96225	209580	41806	147863	354491	544160
	25	88204	71767	167098	327069	32052	151898	462908	646858
	35	104962	108020	257448	470430	18980	193105	563969	776054
X/L = 120%	5	61726	12198	-645	73279	50623	136011	261581	448215
	15	74571	40830	90560	205960	43019	151196	497390	691605
	25	99017	81247	257778	438041	35711	173152	648466	857329
	35	177852	84654	338797	601303	13808	219566	747919	981293

Output gaya yang dihasilkan dari *running software* pada *surface right starboard rudder* menunjukkan nilai yang relatif lebih besar daripada *surface* lainnya. Pada tabel 4.14, variasi X/L=120% menunjukkan nilai *drag force* dan *lift force* yang terbesar diantara *surface* lainnya dengan nilai mencapai 601303 N untuk *drag force* dan 981293 N untuk *lift force*.

Untuk mengetahui kontribusi gaya yang dihasilkan tiap *rudder*, maka nilai *drag force* dan *lift force* tiap *surface* dijumlahkan. Dengan menjumlahkan nilai gaya pada *surface left portside* dengan *lift portside*, maka dapat diketahui nilai total *force portside rudder*. Hal yang sama berlaku untuk mengetahui nilai total *force starboard rudder*, yaitu dengan menjumlahkan nilai gaya pada *surface left starboard* dan *right starboard*. Sedangkan untuk mengetahui kontribusi total gaya yang dihasilkan dari kedua *rudder* kapal, maka nilai dari total *force portside rudder* diakumulasikan dengan nilai total *force starboard rudder*. Nilai *drag force* dan *lift force* dari total akumulasi keseluruhan *surface* yang ada pada kedua *rudder* inilah yang dinamakan sebagai total *force rudder* atau gaya total yang dihasilkan oleh kedua *rudder* untuk membuat kapal melakukan manuver.

Adapun nilai gaya yang telah diakumulasikan tiap *surface* sehingga terbentuk nilai dari total *force portside rudder*, total *force starboard rudder* dan total *force rudder* telah dicantumkan pada tabel 15 hingga tabel 17.

Tabel 4.15 *Drag force* dan *lift force* pada *portside rudder*

VARISASI	SUDUT (DEG)	TOTAL LP		TOTAL RP		TOTAL FORCE PORTSIDE RUDDER	
		DRAG FORCE (N)	LIFT FORCE (N)	DRAG FORCE (N)	LIFT FORCE (N)	DRAG FORCE (N)	LIFT FORCE (N)
X/L = 80%	5	-7893	-199408	24929	228609	17036	29201
	15	-48502	-209016	67472	263282	18970	54266
	25	-129358	-328566	179574	408380	50216	79815
	35	-304891	-472365	388610	644506	83720	172142
X/L = 100%	5	-2333	-248341	60893	287886	58560	39545
	15	-90549	-384781	154720	479852	64171	95070
	25	-164052	-421096	291797	609288	127746	188192
	35	-310322	-461035	536874	777191	226552	316156
X/L = 120%	5	-4304	-190057	78756	288875	74452	98818
	15	-87533	-337390	178103	494649	90570	157259
	25	-212983	-340898	368698	705792	155715	364894
	35	-251840	-388148	562746	917213	310906	529065

Tabel 4.16 *Drag force* dan *lift force* pada *starboard rudder*

VARISASI	SUDUT (DEG)	TOTAL LS		TOTAL RS		TOTAL FORCE STARBOARD RUDDER	
		DRAG FORCE (N)	LIFT FORCE (N)	DRAG FORCE (N)	LIFT FORCE (N)	DRAG FORCE (N)	LIFT FORCE (N)
X/L = 80%	5	-5924	-505592	83334	526363	77410	20771
	15	-53793	-490485	163737	548787	109944	58302
	25	-84214	-379153	242822	593698	158608	214545
	35	-112778	-325691	324273	655459	211495	329769
X/L = 100%	5	-7527	-452770	92829	474197	85303	21428
	15	-57836	-374990	209580	544160	151744	169170
	25	-116121	-366899	327069	646858	210948	279959
	35	-172154	-340122	470430	776054	298277	435933
X/L = 120%	5	-1220	-408491	73279	448215	72060	39724
	15	-64711	-384596	205960	691605	141250	307009
	25	-143793	-332922	438041	857329	294248	524407
	35	-151323	-280262	601303	981293	449980	701032

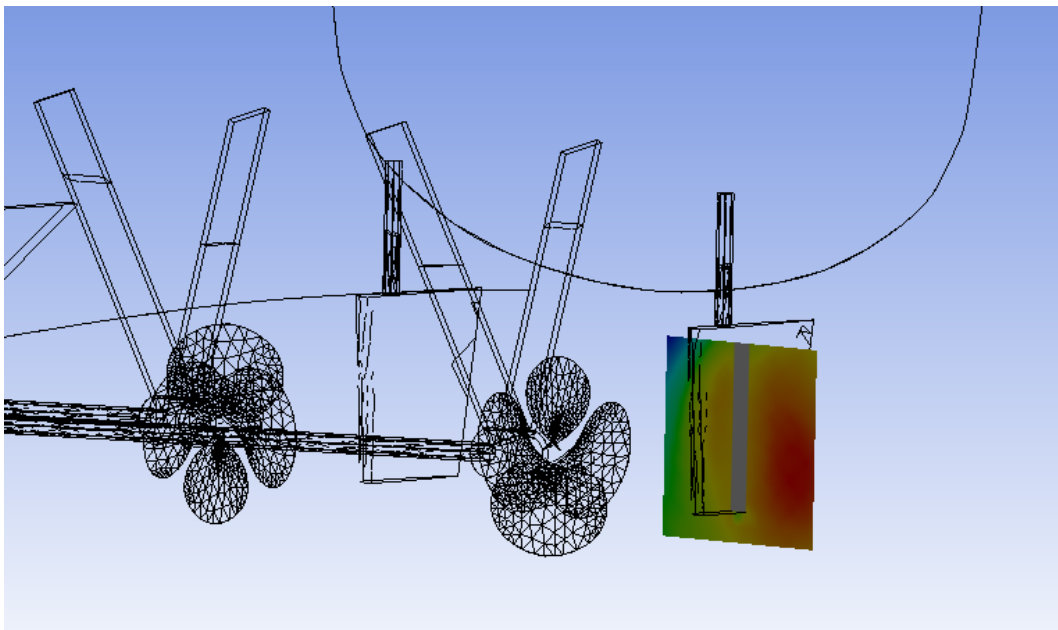
Tabel 4.17 *Drag force* dan *lift force* pada *rudder*

VARISASI	SUDUT (DEG)	TOTAL FORCE PORTSIDE RUDDER		TOTAL FORCE STARBOARD RUDDER		TOTAL FORCE RUDDER	
		DRAG FORCE (N)	LIFT FORCE (N)	DRAG FORCE (N)	LIFT FORCE (N)	DRAG FORCE (N)	LIFT FORCE (N)
X/L = 80%	5	17036	29201	77410	20771	94446	49971
	15	18970	54266	109944	58302	128913	112568
	25	50216	79815	158608	214545	208824	294360
	35	83720	172142	211495	329769	295214	501910
X/L = 100%	5	58560	39545	85303	21428	143863	60973
	15	64171	95070	151744	169170	215915	264240
	25	127746	188192	210948	279959	338693	468151
	35	226552	316156	298277	435933	524828	752088
X/L = 120%	5	74452	98818	72060	39724	146512	138542
	15	90570	157259	141250	307009	231819	464268
	25	155715	364894	294248	524407	449963	889301
	35	310906	529065	449980	701032	760887	1230097

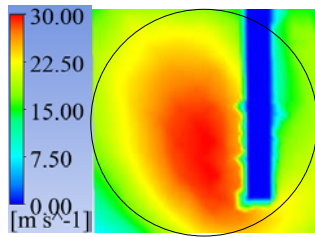
4.4 ANALISIS KECEPATAN ALIRAN DENGAN VARIASI POSISI *RUDDER*

Pada subbab ini akan dibahas bagaimana bentuk dan distribusi kecepatan aliran yang terbentuk akibat putaran *propeller* yang kemudian terhalang oleh *rudder* dengan sudut tertentu. Putaran 2 buah *propeller* pada kapal membuat fluida yang ada di sekitar *propeller* terdorong menuju buritan. Namun karena aliran menabrak *rudder* yang telah membentuk sudut mengakibatkan aliran yang tadinya menuju buritan menjadi berbelok ke arah samping. Beloknya aliran ke arah samping membuat laju kapal yang sebelumnya lurus menjadi ke samping (berbelok).

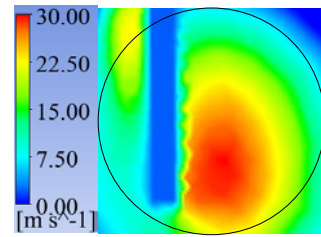
Pada analisa ini yang digunakan sebagai bahan analisa adalah distribusi *fluid velocity* u berupa irisaan area sumbu y pada tengah *rudder* tepat segaris lurus dengan *propeller* yang ada didepannya dan berukuran persegi empat $1.5\text{m}^2 \times 1.5\text{m}^2$ seperti yang terlihat pada gambar 4.13. Berdasarkan hasil *running software*, pada *area* dekat *rudder* terbentuk distribusi kecepatan aliran namun bentuk dan kecepatannya bervariasi tergantung pada variasi posisi *rudder* dan sudut *rudder* yang dibentuk.



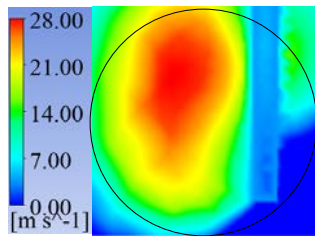
Gambar 4.13 Distribusi *fluid velocity* u



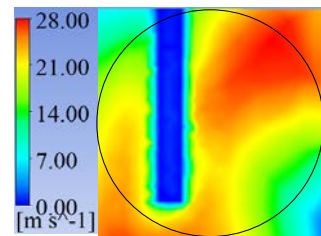
$\alpha=5^\circ$ (*starboard*)



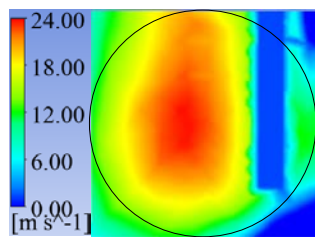
$\alpha=5^\circ$ (*portside*)



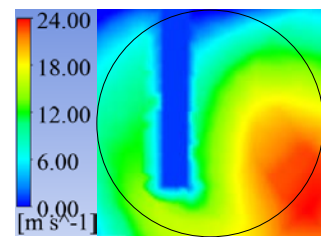
$\alpha=15^\circ$ (*starboard*)



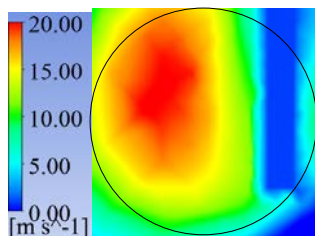
$\alpha=15^\circ$ (*portside*)



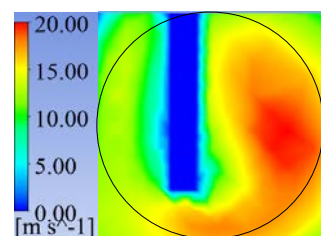
$\alpha=25^\circ$ (*starboard*)



$\alpha=25^\circ$ (*portside*)

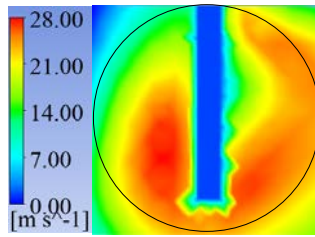


$\alpha=35^\circ$ (*starboard*)

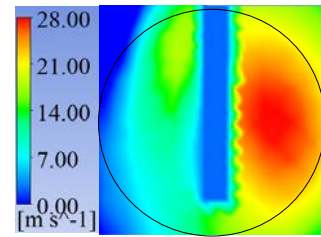


$\alpha=35^\circ$ (*portside*)

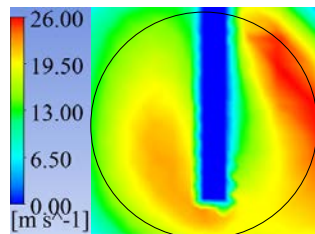
Gambar 4.14 Distribusi *fluid velocity* u untuk variasi X/L=80%



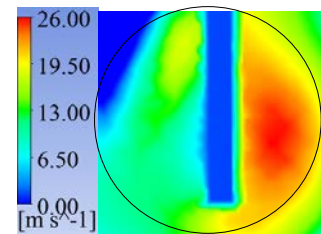
$\alpha=5^\circ$ (*starboard*)



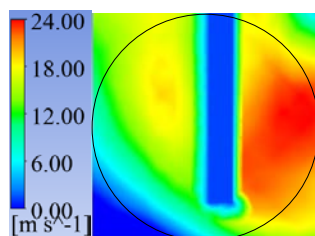
$\alpha=5^\circ$ (*portside*)



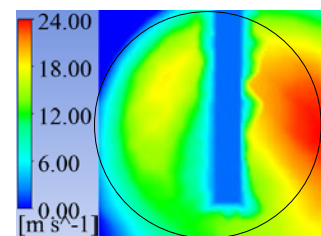
$\alpha=15^\circ$ (*starboard*)



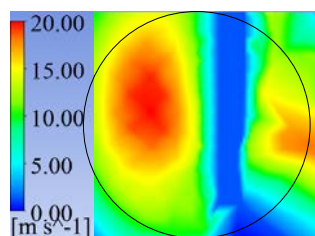
$\alpha=15^\circ$ (*portside*)



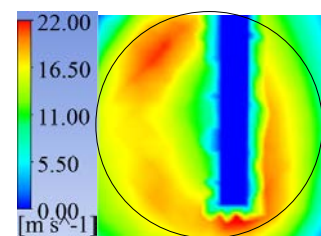
$\alpha=25^\circ$ (*starboard*)



$\alpha=25^\circ$ (*portside*)

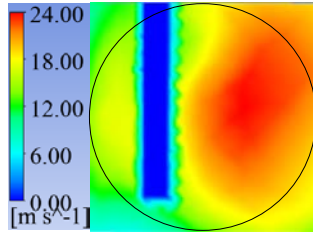


$\alpha=35^\circ$ (*starboard*)

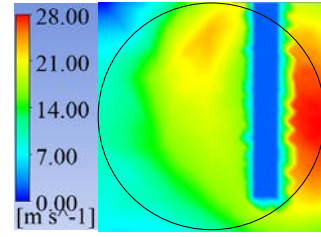


$\alpha=35^\circ$ (*portside*)

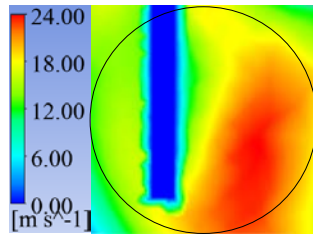
Gambar 4.15 Distribusi *fluid velocity* u untuk variasi X/L=100%



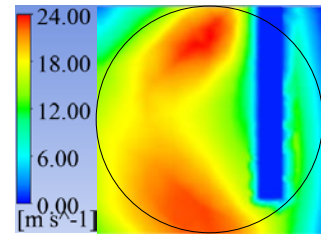
$\alpha=5^\circ$ (*starboard*)



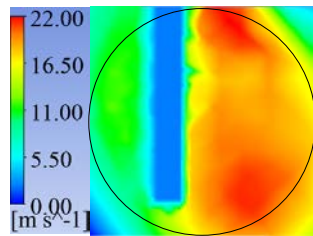
$\alpha=5^\circ$ (*portside*)



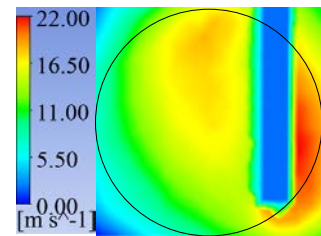
$\alpha=15^\circ$ (*starboard*)



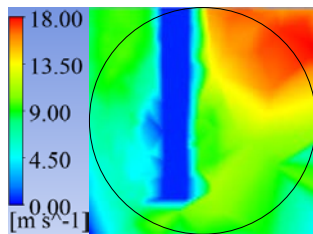
$\alpha=15^\circ$ (*portside*)



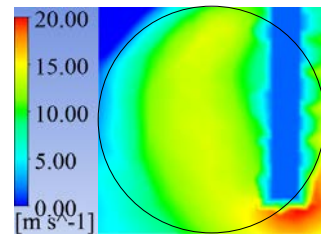
$\alpha=25^\circ$ (*starboard*)



$\alpha=25^\circ$ (*portside*)



$\alpha=35^\circ$ (*starboard*)



$\alpha=35^\circ$ (*portside*)

Gambar 4.16 Distribusi *fluid velocity* u untuk variasi X/L=120%

Dari hasil *running software* dapat dilihat distribusi *fluid velocity* u pada gambar 4.14 hingga gambar 4.16. Distribusi yang terbentuk tiap variasi dan sudut *rudder* berbeda baik pola maupun kecepatannya. Distribusi *fluid velocity* u divisualisasikan dalam bentuk warna dengan *range* tertentu. *Range* kecepatan terbesar dimiliki oleh variasi $X/L=80\%$ pada sudut 5 dengan *range* kecepatan mencapai 30 m/s, sedangkan *range* kecepatan terkecil dimiliki variasi $X/L=120\%$ pada sudut 35° dengan *range* kecepatan hanya 18 m/s.

Untuk dapat membandingkan kecepatan aliran pada tiap *rudder* berdasarkan variasi dan sudutnya, maka perlu untuk mencari nilai rata-rata dari setiap distribusi *fluid velocity* u. Pada *software* dapat menghitung berapa rata-rata *fluid velocity* u pada tiap kondisi. Seperti pada gambar 4.17 sebagai contoh, *fluid velocity* u pada variasi $X/L=120\%$ sudut 35° dapat dihitung rata-ratanya oleh *software* dan menghasilkan 9.30 m/s). dengan cara yang sama maka semua kondisi dapat diketahui nilai rata-rata *fluid velocity* u seperti yang terlihat pada tabel 4.18.

The screenshot shows a 'Function Calculator' window with the following settings:

- Function: ave
- Location: Plane 1
- Case: CFX at 10s
- Variable: Velocity u
- Direction: Global
- Fluid: All Fluids

The Results section displays:

Average of Velocity u on Plane 1
 9.30097 [m s⁻¹]

Gambar 4.17 *Fluid velocity* u untuk $X/L=120\%$ sudut 35° *starboard rudder*

Tabel 4.18 *Fluid velocity u* di sekitar *rudder*

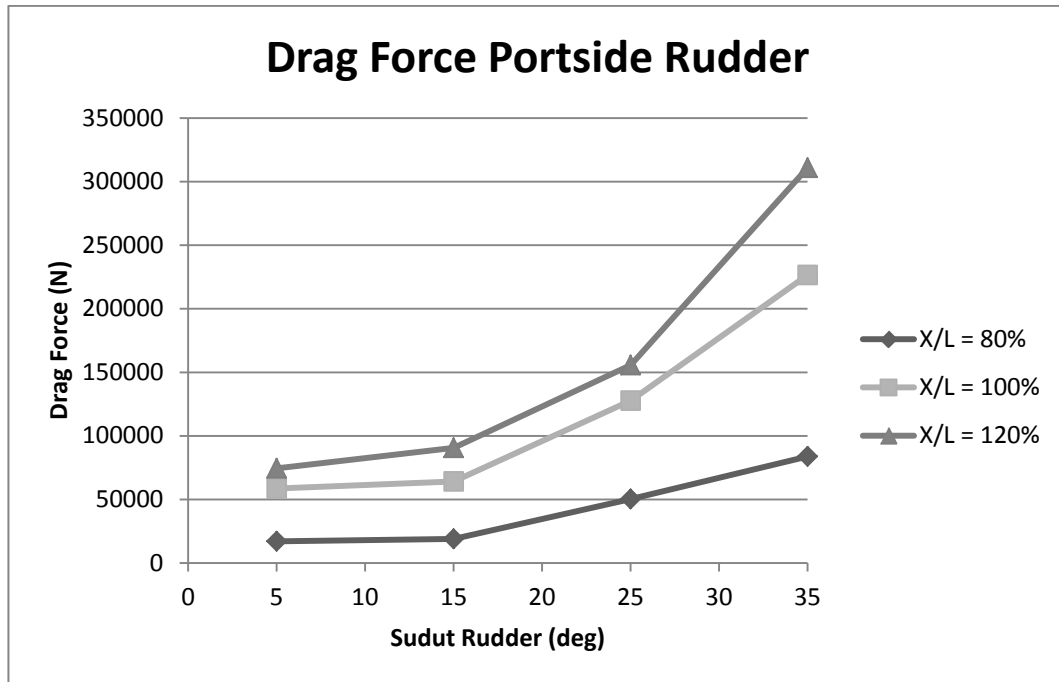
VARISASI	SUDUT (DEG)	STARBOARD (m/s)	PORTSIDE (m/s)
X/L = 80%	5	16.75	15.14
	15	14.00	14.23
	25	13.00	12.41
	35	10.36	10.89
X/L = 100%	5	14.23	14.22
	15	13.50	13.50
	25	12.00	12.00
	35	10.56	11.36
X/L = 120%	5	13.51	14.12
	15	12.88	12.86
	25	11.12	11.24
	35	9.30	10.08

4.5 ANALISIS EFEKTIFITAS MANUVER KAPAL

4.5.1 Analisis Efektivitas Manuver Berdasarkan *Drag Force* dan *Lift Force* pada *Rudder*

Kontribusi *drag force* dan *lift force* yang dihasilkan *rudder* berpengaruh terhadap efektivitas manuver kapal. *Drag force* pada *rudder* menahan laju lurus kapal sedangkan *lift force* membuat kapal terdorong untuk bergerak ke samping sehingga kapal dapat melakukan manuver. Semakin besar *drag force* dan *lift force* yang dihasilkan *rudder*, maka semakin mudah kapal melakukan manuver. Jika semakin mudah kapal untuk melakukan manuver maka semakin tinggi pula efektivitas manuvernya.

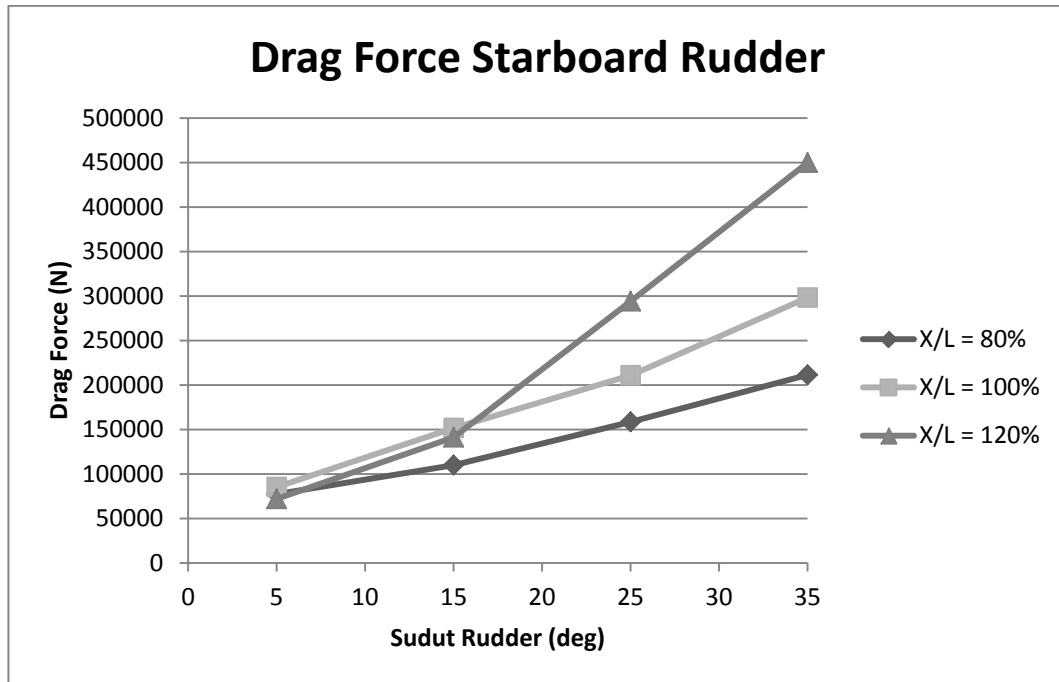
Pada subbab sebelumnya telah dibahas nilai *drag force* dan *lift force* setiap *surface* pada *rudder*. Pada subbab ini akan dianalisa dan dibahas hasil *force* dari masing-masing *rudder* pada setiap kondisi berdasarkan *force* tiap *surface* yang didapat dari analisa pada subbab sebelumnya.



Gambar 4.18 Grafik hubungan antara *drag force* dengan sudut *rudder* pada *portside rudder*

Berdasarkan grafik di atas, secara keseluruhan variasi $X/L=120\%$ menghasilkan *drag force* pada *portside rudder* lebih besar daripada variasi lainnya. Pada sudut rudder 5° , terlihat bahwa nilai *drag force* untuk $X/L=120\%$ tidak terpaut jauh dengan $X/L=100\%$ dengan nilai masing-masing 74452 N dan 58560 N. Sedangkan pada sudut lainnya garis grafik $X/L=120\%$ dan $X/L=100\%$ lebih renggang. Variasi $X/L=80\%$ bila dibandingkan dengan variasi lainnya menghasilkan *drag force* yang paling kecil bahkan tidak lebih dari 100000 N, jika dibandingkan dengan variasi lainnya yang nilai *drag force*-nya lebih dari 100000 N pada sudut 25° dan 35° .

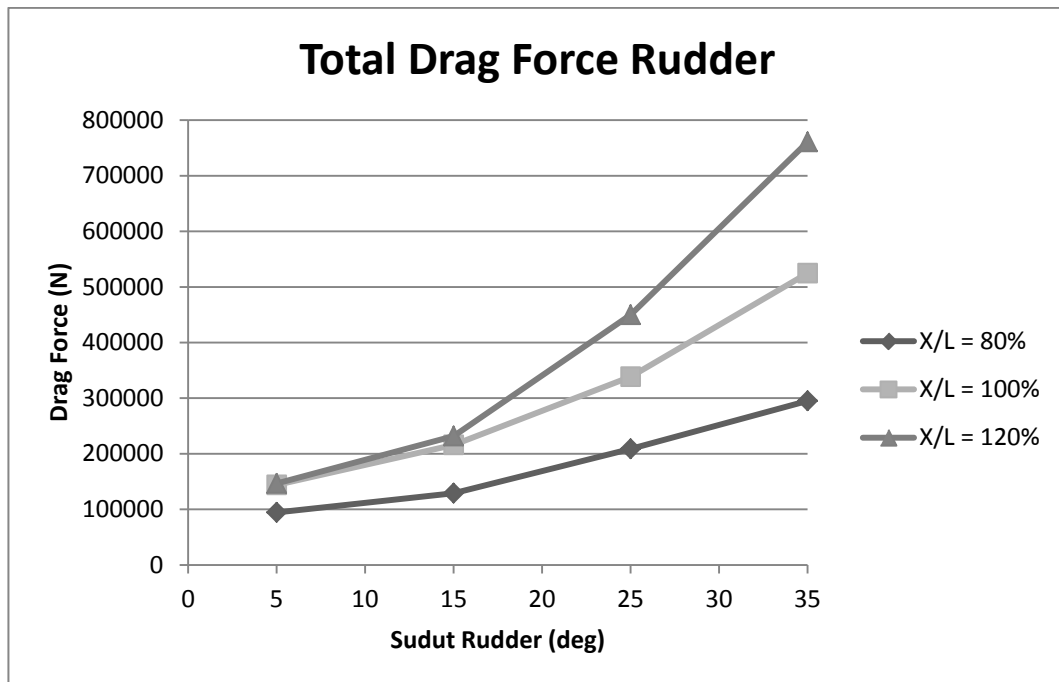
Pada grafik di atas *portside rudder* mempunyai nilai *drag force* tertinggi dihasilkan oleh variasi $X/L=120\%$ pada sudut 35° dengan nilai 310906 N. Sedangkan pada sudut 35° variasi $X/L=100\%$ hanya menghasilkan *drag force* 226552 N dan pada variasi $X/L=80\%$ mempunyai *drag force* terkecil diantara ketiga variasi yaitu 83720 N.



Gambar 4.19 Grafik hubungan antara *drag force* dengan sudut *rudder* pada *starboard rudder*

Berbeda dengan grafik *drag force* pada *portside rudder* yang menunjukkan variasi $X/L=120\%$ menghasilkan nilai *drag force* paling tinggi pada setiap kondisi sudut, nilai *drag force* yang dihasilkan *starboard rudder* tidak menunjukkan hal yang sama. Pada sudut 5° , variasi $X/L=100$ merupakan variasi yang menghasilkan *drag force* tertinggi dengan nilai 85303 N kemudian diikuti $X/L=80\%$ 77410 N dan $X/L=120\%$ 72060 N. Pada sudut 15° , variasi $X/L=100\%$ menunjukkan hasil *drag force* 151744 N sedangkan variasi lainnya lebih kecil dari itu. Tetapi pada sudut 25° variasi $X/L=120\%$ menunjukkan hasil *drag force* yang signifikan jauh di atas variasi lainnya dengan *drag force* 294248 N.

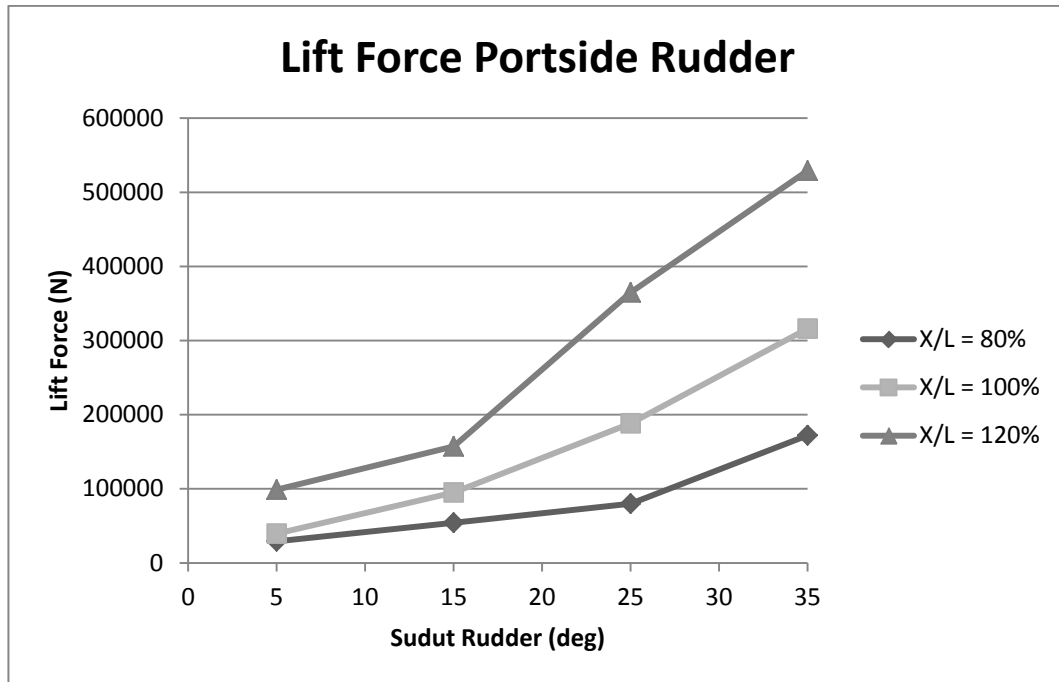
Seperti yang terlihat pada grafik di atas, *starboard rudder* mempunyai nilai *drag force* tertinggi dihasilkan oleh variasi $X/L=120\%$ pada sudut 35° dengan nilai 449980 N. Sedangkan pada sudut 35 variasi $X/L=100\%$ hanya menghasilkan *drag force* 298277 N dan pada variasi $X/L=80\%$ mempunyai *drag force* terkecil diantara ketiga variasi yaitu 211495 N.



Gambar 4.20 Grafik hubungan antara total *drag force* dengan sudut *rudder*

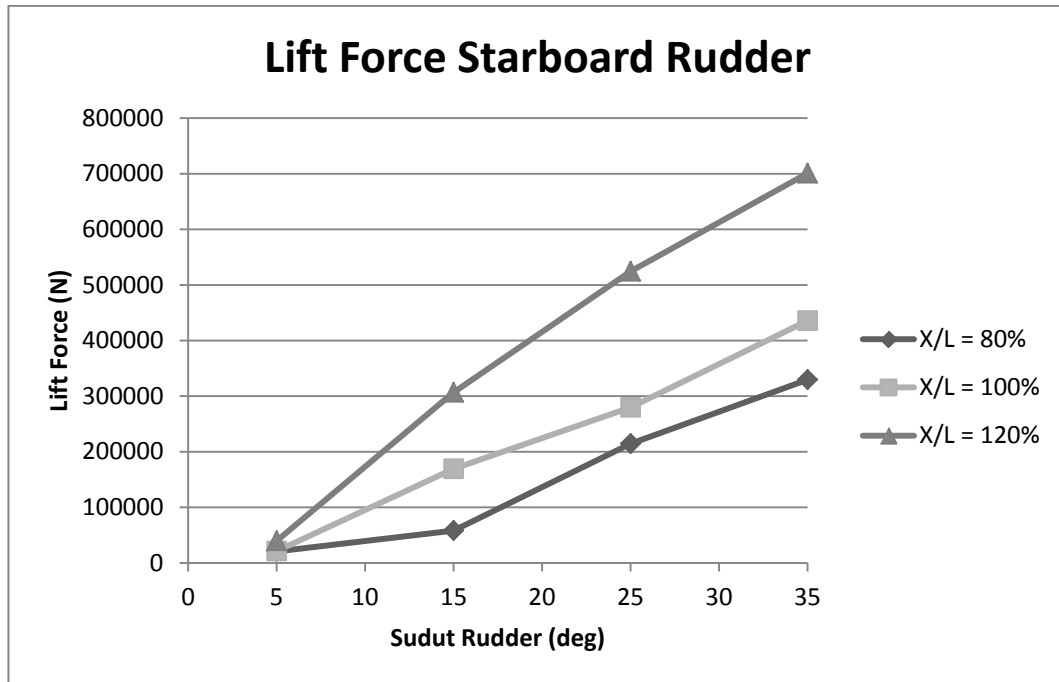
Grafik di atas merupakan grafik yang nilainya didapat dari penjumlahan antara nilai *drag force* pada *portside* dan *starboard rudder*. Grafik ini menunjukkan total *drag force* yang dihasilkan oleh kedua *rudder*. Nilai *drag force* pada sudut 5° variasi X/L=100% dan X/L=120% menunjukkan hasil yang hampir sama dengan nilai masing-masing 143863 N dan 146512 N. Sedangkan pada sudut 25° dan 35° antara variasi X/L=100% dan X/L=120% nilai *drag force* yang dihasilkan memiliki perbedaan yang cukup signifikan. Pada Variasi X/L=80% menghasilkan nilai *drag force* jauh dibawah bila dibandingkan dengan besarnya nilai *drag force* pada varisai lainnya.

Dapat dilihat dari grafik di atas bahwa secara keseluruhan variasi X/L=120% merupakan variasi yang menghasilkan nilai *drag force* tertinggi tiap kondisi. Variasi X/L=120% menghasilkan nilai *drag force* tertinggi pada sudut 35° dengan nilai 760887 N. Sedangkan variasi X/L=80% merupakan variasi yang secara keseluruhan menghasilkan nilai *drag force* yang paling kecil diantara variasi lainnya, dengan nilai maksimal pada sudut 35 295214 N.



Gambar 4.21 Grafik hubungan antara *lift force* dengan sudut *rudder* pada *portside rudder*

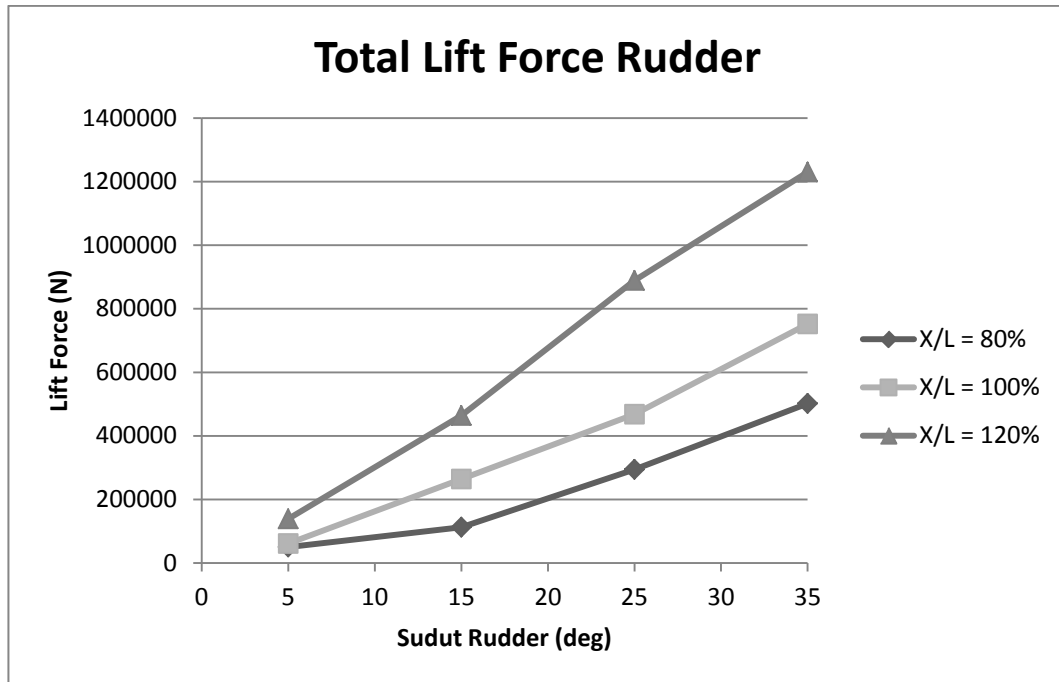
Menurut gambar grafik di atas, secara keseluruhan variasi $X/L=120\%$ menghasilkan *lift force* pada *portside rudder* lebih besar daripada variasi lainnya. Pada sudut rudder 5° , terlihat bahwa nilai *lift force* untuk $X/L=100\%$ tidak terpaut jauh dengan $X/L=80\%$ dengan nilai masing-masing 39545 N dan 29201 N. Sedangkan pada sudut lainnya, jarak antara garis grafik $X/L=80\%$, $X/L=100\%$ dan $X/L=120\%$ terlihat lebih melebar. Pada grafik di atas *portside rudder* mempunyai nilai *lift force* tertinggi dihasilkan oleh variasi $X/L=120\%$ pada sudut 35° dengan nilai 529065 N. Sedangkan pada sudut 35° variasi $X/L=100\%$ hanya menghasilkan *lift force* 316156 N dan pada variasi $X/L=80\%$ mempunyai *lift force* terkecil diantara ketiga variasi yaitu 172142 N.



Gambar 4.22 Grafik hubungan antara *lift force* dengan sudut *rudder* pada *starboard rudder*

Seperti yang terlihat pada grafik di atas, pada semua kondisi variasi $X/L=120\%$ menghasilkan *lift force* pada *starboard rudder* yang lebih besar daripada variasi lainnya. Pada sudut rudder 5° , besarnya nilai *lift force* untuk $X/L=80\%$, $X/L=100\%$ dan $X/L=120\%$ tidak berbeda jauh dengan nilai masing-masing 207711 N, 214280 N dan 397240 N. Sedangkan pada sudut lainnya garis grafik $X/L=80\%$, $X/L=100\%$ dan $X/L=120\%$ terlihat lebih merenggang.

Pada grafik di atas portside rudder mempunyai nilai *drag force* tertinggi dihasilkan oleh variasi $X/L=120\%$ pada sudut 35° dengan nilai 701032 N. Sedangkan pada sudut 35° variasi $X/L=100\%$ hanya menghasilkan *lift force* 435933 N dan pada variasi $X/L=80\%$ mempunyai *lift force* terkecil diantara ketiga variasi yaitu 329769 N.



Gambar 4.23 Grafik hubungan antara total *Lift force* dengan sudut *rudder*

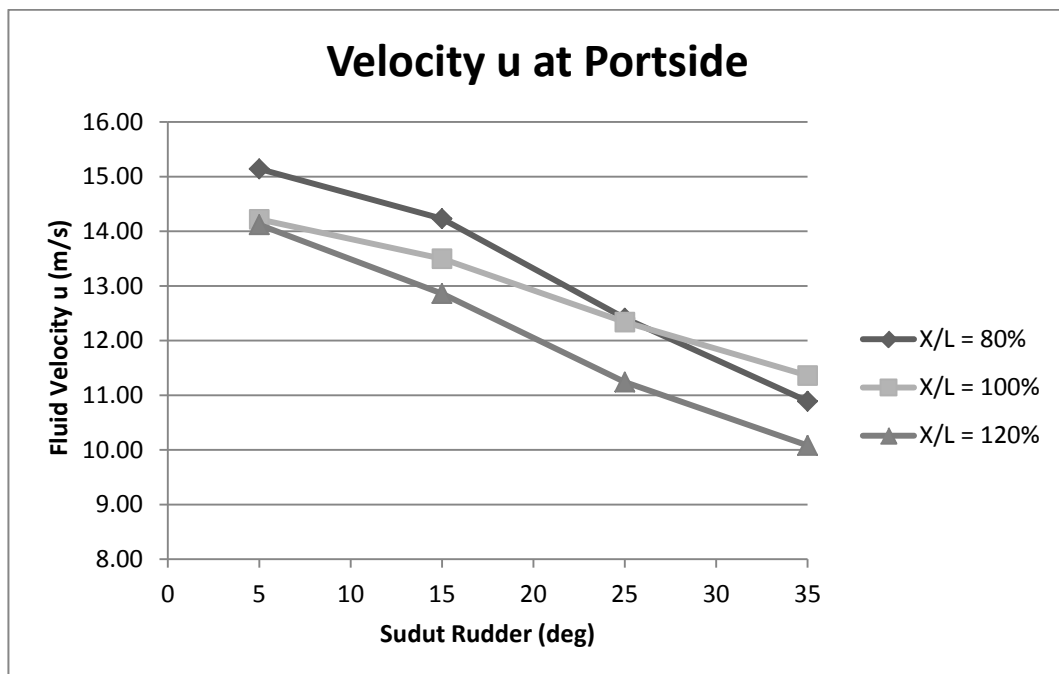
Grafik di atas merupakan grafik yang nilainya didapat dari penjumlahan antara nilai *lift force* pada *portside* dan *starboard rudder*. Grafik ini menunjukkan total *lift force* yang dihasilkan oleh kedua *rudder*. Nilai *lift force* pada sudut 5° variasi X/L=80% dan X/L=100% menunjukkan hasil yang hampir sama dengan nilai masing-masing 49971 N dan 60973 N. Sedangkan pada sudut 15°, 25° dan 35° antara variasi X/L=80%, X/L=100% dan X/L=120% nilai *lift force* yang dihasilkan memiliki perbedaan yang cukup signifikan. Pada Variasi X/L=80% menghasilkan nilai *lift force* jauh dibawah bila dibandingkan dengan besarnya nilai *lift force* pada varisai lainnya.

Dapat dilihat dari grafik di atas bahwa secara keseluruhan variasi X/L=120% merupakan variasi yang menghasilkan nilai *lift force* tertinggi tiap kondisi. Variasi X/L=120% menghasilkan nilai *lift force* tertinggi pada sudut 35° dengan nilai 1230097 N. Sedangkan variasi X/L=80% merupakan variasi yang secara keseluruhan menghasilkan nilai *lift force* yang paling kecil diantara variasi lainnya, dengan nilai maksimal pada sudut 35° 501910 N.

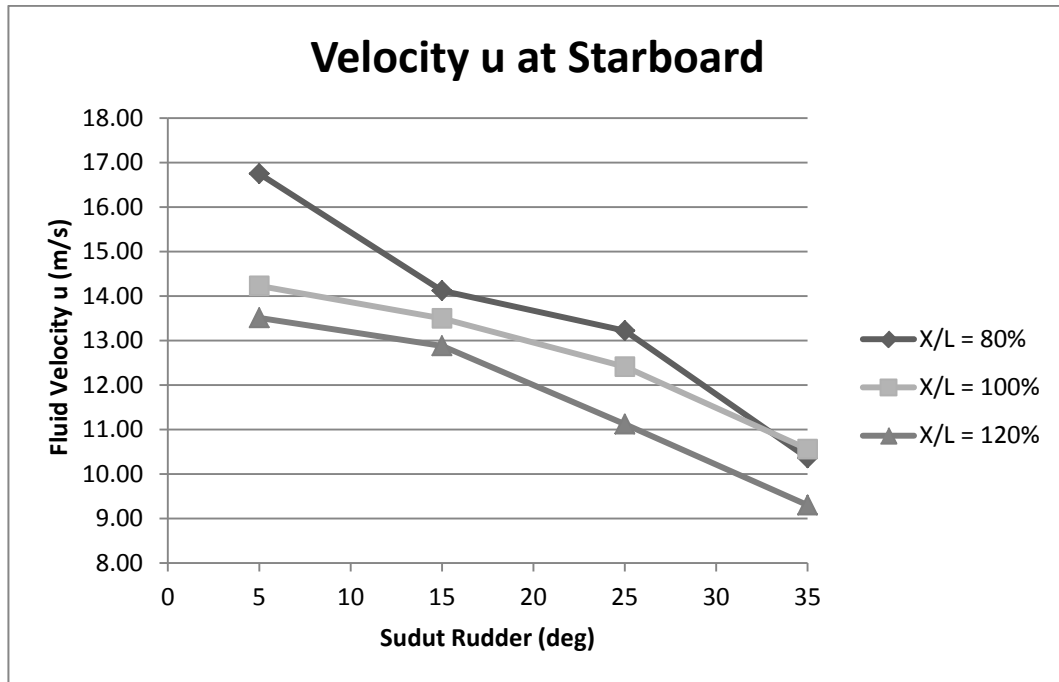
4.5.2 Analisis Efektivitas Manuver Berdasarkan Distribusi Kecepatan Aliran

Pada saat *rudder* berbelok, aliran fluida yang dihasilkan oleh *propeller* mengalami penurunan kecepatan arah u (kecepatan yang membuat kapal melaju lurus arah haluan) dan berbelok ke arah samping. Penurunan kecepatan arah u (*fluid velocity u*) terjadi akibat tertahannya arus fluida yang dihasilkan *propeller* terhalang oleh badan *rudder*. Penurunan *fluid velocity u* yang signifikan menandakan semakin besar peran *rudder* untuk menghadang arus fluida yang dibuat *propeller* dan mengubah arahnya menjadi ke samping. Jika semakin besar peran *rudder* untuk menurunkan *fluid velocity u* , maka semakin besar efektivitas manuver yang dimiliki *rudder* tersebut.

Pada subbab sebelumnya telah dibahas bagaimana distribusi *fluid velocity u* pada setiap *rudder*. Pada subbab ini akan dianalisa dan dibahas hasil distribusi *fluid velocity u* dari masing-masing *rudder* pada setiap kondisi terhadap efektivitas manuver kapal.



Gambar 4.24 Grafik hubungan antara *fluid velocity u* dengan sudut *rudder* pada *portside rudder*



Gambar 4.25 Grafik hubungan antara *fluid velocity u* dengan sudut *rudder* pada *starboard rudder*

Berdasarkan grafik pada gambar 4.24 dan gambar 4.25, variasi $X/L=120\%$ pada *portside* maupun pada *starboard* merupakan variasi posisi *rudder* yang mempunyai penurunan *fluid velocity u* paling signifikan jika dibandingkan dengan variasi lainnya. Pada sudut 35 *fluid velocity u* pada *portside* sebesar 10.08 m/s dan pada *starboard fluid velocity u* sebesar 9.30 m/s. Kedua nilai tersebut merupakan nilai terkecil pada setiap grafik di atas. Kecilnya nilai *fluid velocity u* ini menandakan bahwa besarnya kontribusi *rudder* untuk menahan laju aliran dari *propeller* dan membelokkan aliran ke samping, sehingga *fluid velocity u* mengalami penurunan nilai yang cukup signifikan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian tugas akhir ini antara lain :

1. Variasi posisi menentukan gaya kemudi (*drag force* dan *lift force*) yang dihasilkan oleh *rudder*. Berdasarkan analisis, variasi $X/L=120\%$ merupakan variasi yang menghasilkan nilai total *drag force* dan *lift force* tertinggi dengan nilai 760887 N untuk *drag force* dan 1230097 N untuk *lift force*.
2. Variasi posisi mempengaruhi distribusi *fluid velocity u* pada area *rudder*. Penurunan *fluid velocity u* paling signifikan terjadi pada variasi $X/L=120\%$ dengan nilai 10.08 m/s pada *portside* dan 9.30 m/s pada *starboard*.
3. Variasi posisi *rudder* $X/L=120\%$ merupakan variasi yang mempunyai efektivitas manuver terbaik karena memiliki nilai *drag force* dan *lift force* tertinggi, serta penurunan nilai *velocity u* pada *rudder* yang paling signifikan.

5.2 SARAN

Dari Tugas Akhir yang telah dilakukan, ada beberapa saran untuk pengembangan penelitian ini selanjutnya :

1. Untuk mendapat pengetahuan tentang hubungan antara posisi *rudder* terhadap efektivitas manuver kapal secara lebih mendalam, dapat dengan memperbanyak variasi posisi *rudder* baik variasi jarak antar *rudder* maupun variasi jarak *rudder* dengan *propeller*.

2. Memperbanyak variasi sudut *rudder* dalam analisa untuk mendapatkan hasil yang lebih detil.
3. Untuk analisis yang lebih mendalam penting untuk memperhitungkan pengaruh tebal *propeller* pada kondisi yang sesungguhnya.

DAFTAR PUSTAKA

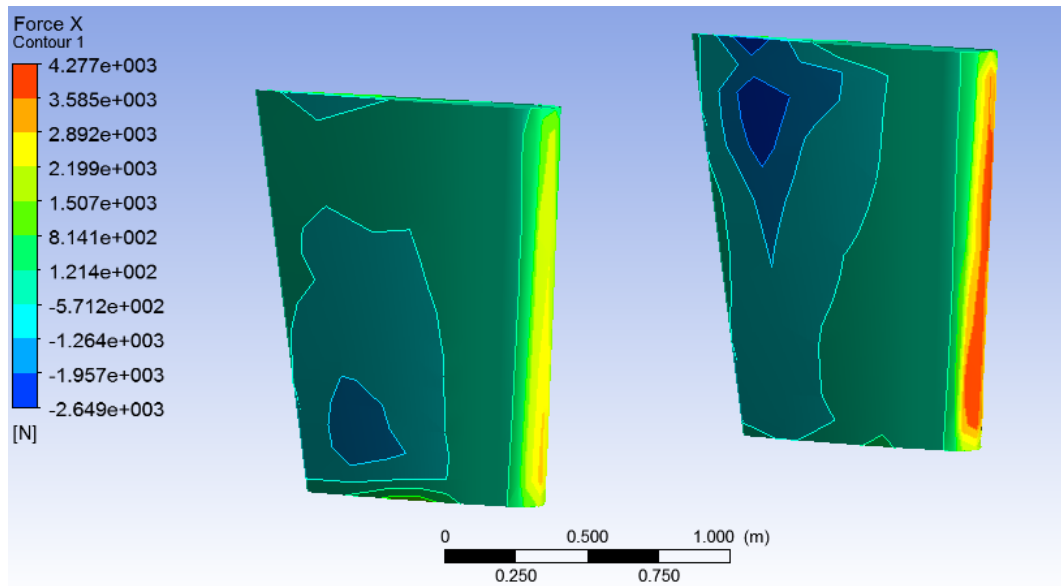
- Ananto, Galih Dwi. 2009. *Analisa Kemampuan Maneuvering Voith Cycloidal Rudder Dibandingkan dengan Konvensional Rudder pada Kapal Single Screw Propeller dengan Pendekatan CFD*. Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Sistem Perkapalan - FTK ITS. Surabaya.
- Biro Klasifikasi Indonesia. 2009. *RULES FOR HULL VOLUME II*. Jakarta.
- Carlton, J. 2007. *Marine Propellers and Propulsion*.
- Hermansyah, Heru. 2007. *Modifikasi Daun Kemudi Konvensional Menjadi Daun Kemudi Ber-Tail Flap untuk Meningkatkan Maneuverability Kapal*. Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Perkapalan - FTK ITS. Surabaya.
- Imron, Andre Tsanistany. *Pengujian Single Flap Dalam Gerakan Zig-Zag dengan Teknik Open Free Running Model Test*. Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Perkapalan - FTK ITS. Surabaya.
- ITTC. 1957. Proceedings of the 8th ITTC, Madrid, Spain. *Canal de Experiencias Hidrodinamicas*. El Pardo, Madrid.
- Lewis, Edward D. 1988. *Principles of Naval Architecture Volume II*. The Society of Naval Architects and Marine Engineers. Jersey City, USA.
- Lewis, H. 1998. *The Ship That Flew*. Oxford Children's Modern Classics.
- Majid, Abdul. 2011. *Modifikasi Daun Kemudi Dengan Flap Tunggal Menjadi Flap Ganda Untuk Meningkatkan Maneuverability Kapal*. Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Perkapalan - FTK ITS. Surabaya.
- Saragih, Rapelman. 2011. *Pengaruh Jumlah dan Posisi Rudder Terhadap Kemampuan Manuvering Kapal*. Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Sistem Perkapalan - FTK ITS. Surabaya.
- Saunders, H. E. 1965. *Hydrodynamics in Ship Design. Author's Notes. Vol. III*. SNAME.
- Shenoi, R.R., P Krishnankutty, R Panneer Selvam dan A Kulshrestha. 2013. *Prediction of Manoeuvring Coefficients of a Container Ship by Numerically Simulating HPMM using RANSE based Solver*. Thesis Report Department of Ocean Engineering, Indian Institute of technology Madras. India.

Utama, I.K.A.P dan A.F. Molland. 2001. *Experimental and Numerical Investigations Into Catamaran Viscous Resistance*. Fast 2001, pp.295-301.

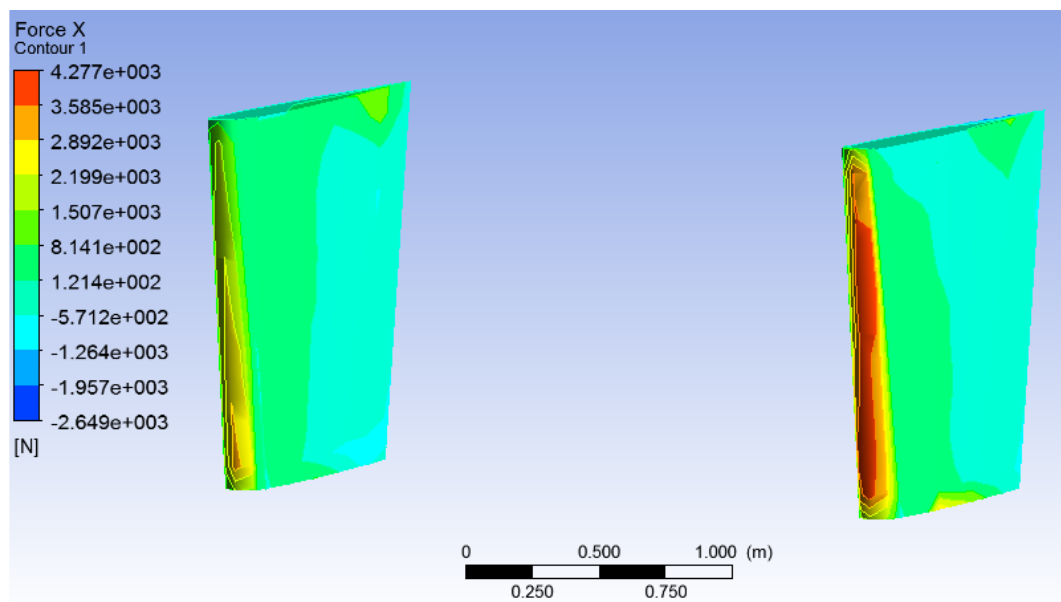
Molland, A.F. dan Turnock, S.R. 1991. *Windtunnel Investigation of the Influence of propeller loading on ship rudder performance*. Ship Science Report No.46. University of Southampton. UK.

LAMPIRAN

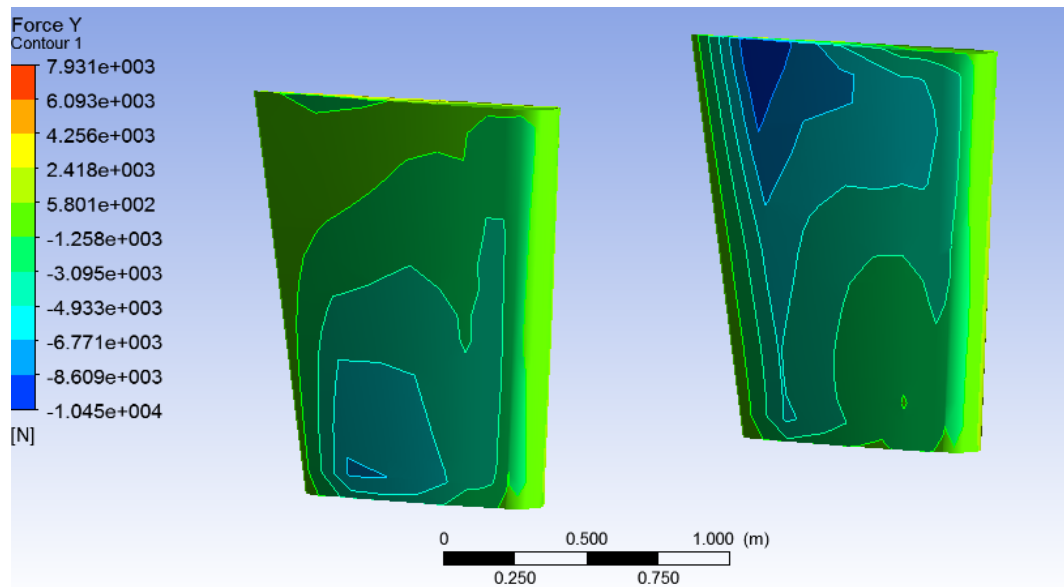
Kontur *drag force* pada variasi posisi *rudder* $X/L = 80\%$, sudut 5°



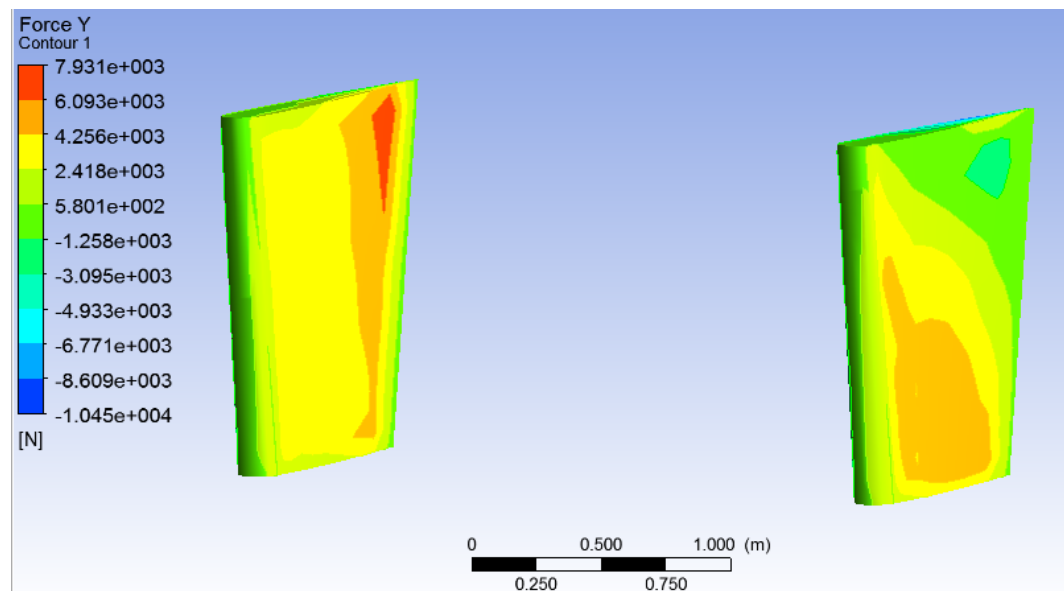
Kontur *drag force* pada variasi posisi *rudder* $X/L = 80\%$, sudut 5°



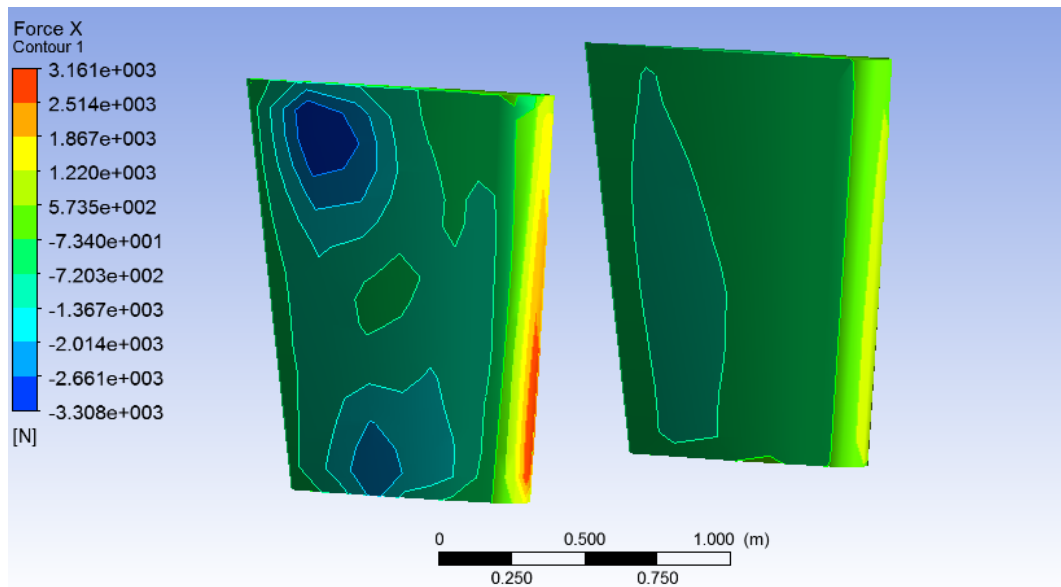
Kontur *lift force* pada variasi posisi *rudder* $X/L = 80\%$, sudut 5°



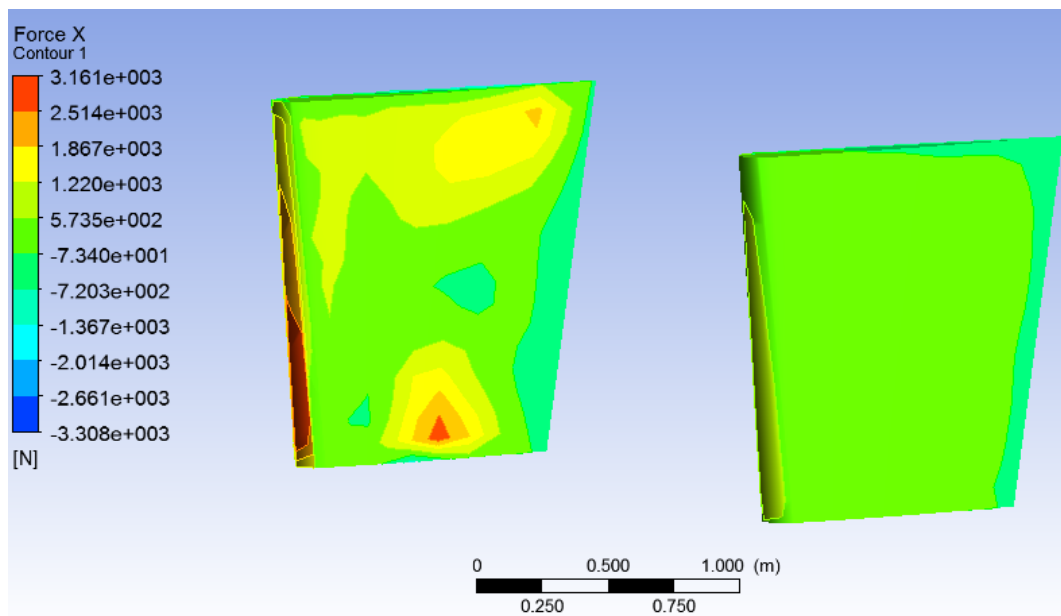
Kontur *lift force* pada variasi posisi *rudder* $X/L = 80\%$, sudut 5°



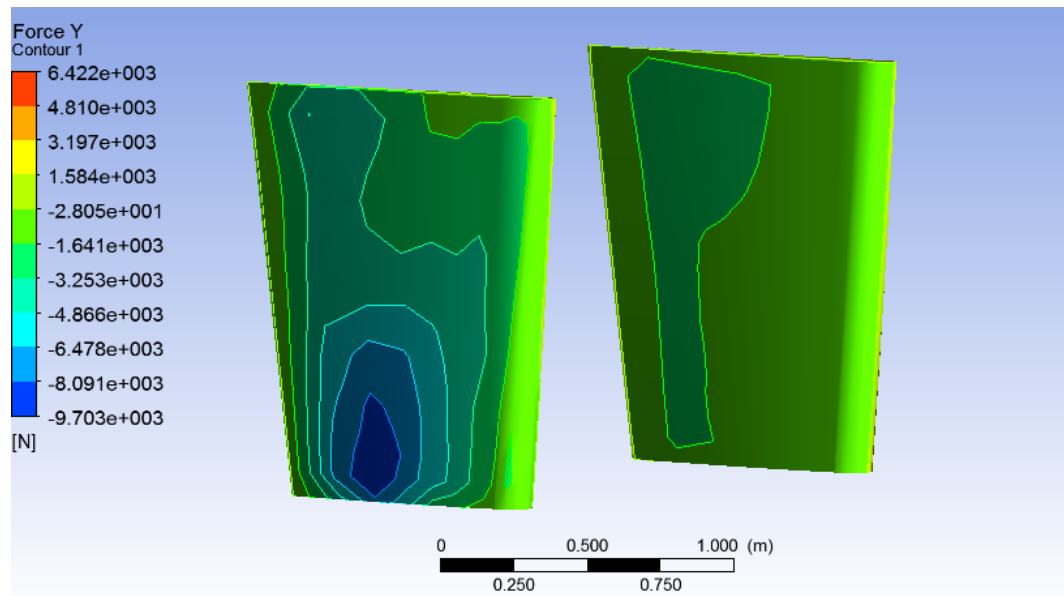
Kontur *drag force* pada variasi posisi *rudder* $X/L=80\%$, sudut 15°



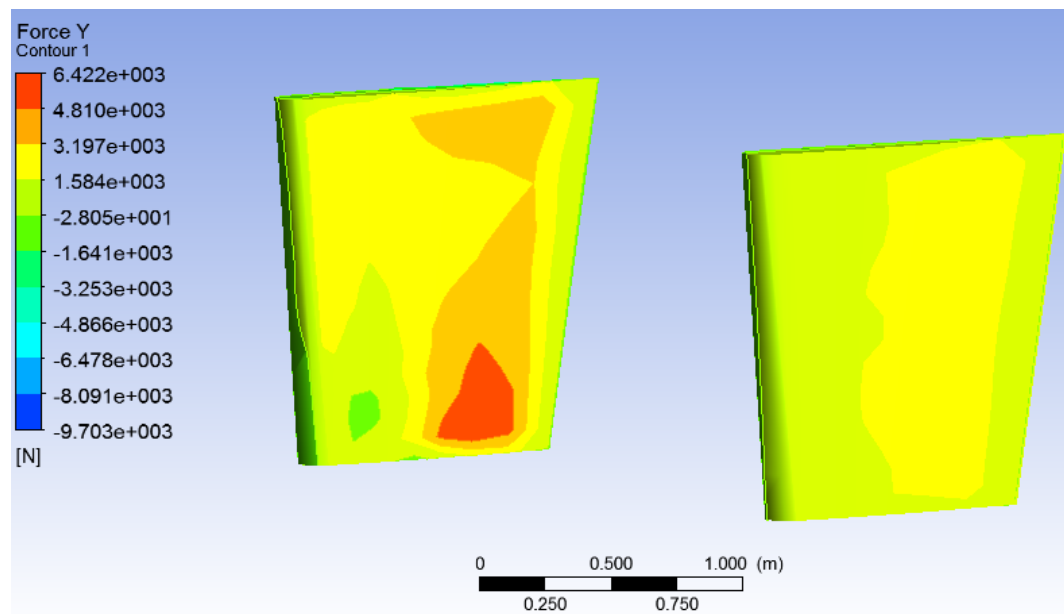
Kontur *drag force* pada variasi posisi *rudder* $X/L=80\%$, sudut 15°



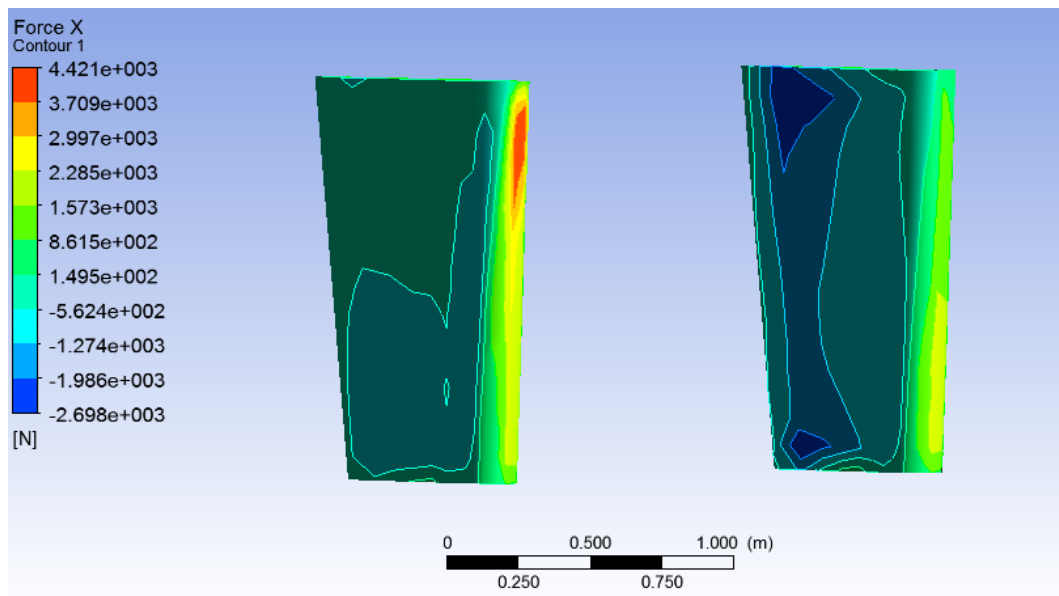
Kontur *lift force* pada variasi posisi *rudder* $X/L = 80\%$, sudut 15°



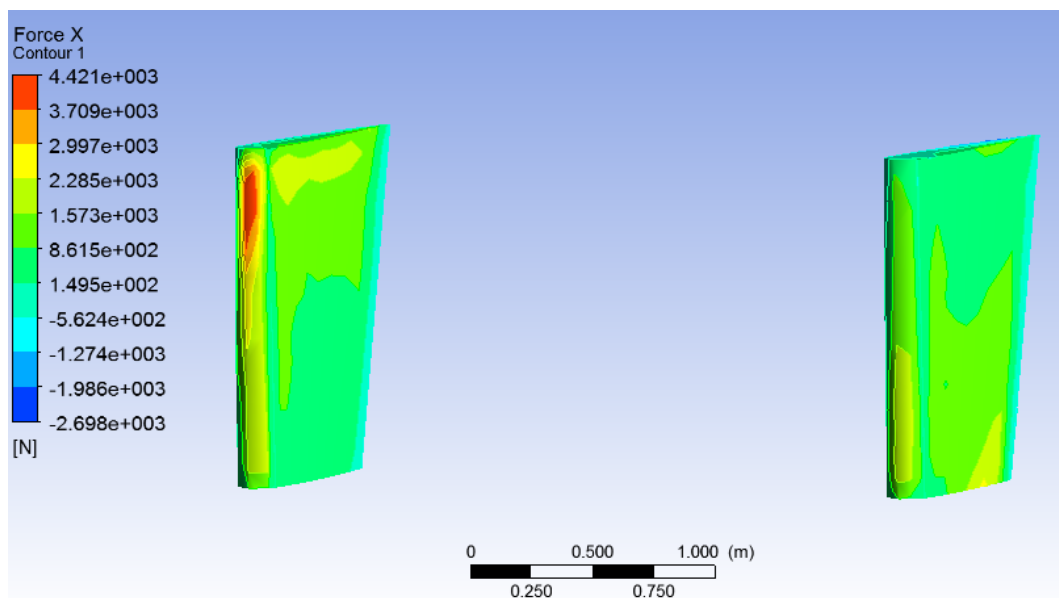
Kontur *lift force* pada variasi posisi *rudder* $X/L = 80\%$, sudut 15°



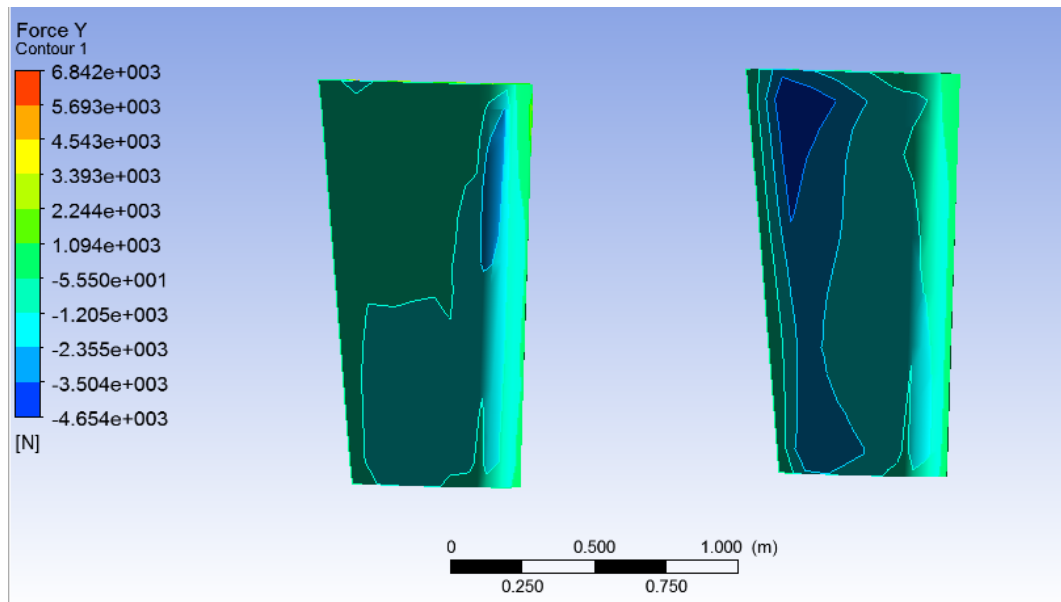
Kontur *drag force* pada variasi posisi *rudder* $X/L= 80\%$, sudut 25°



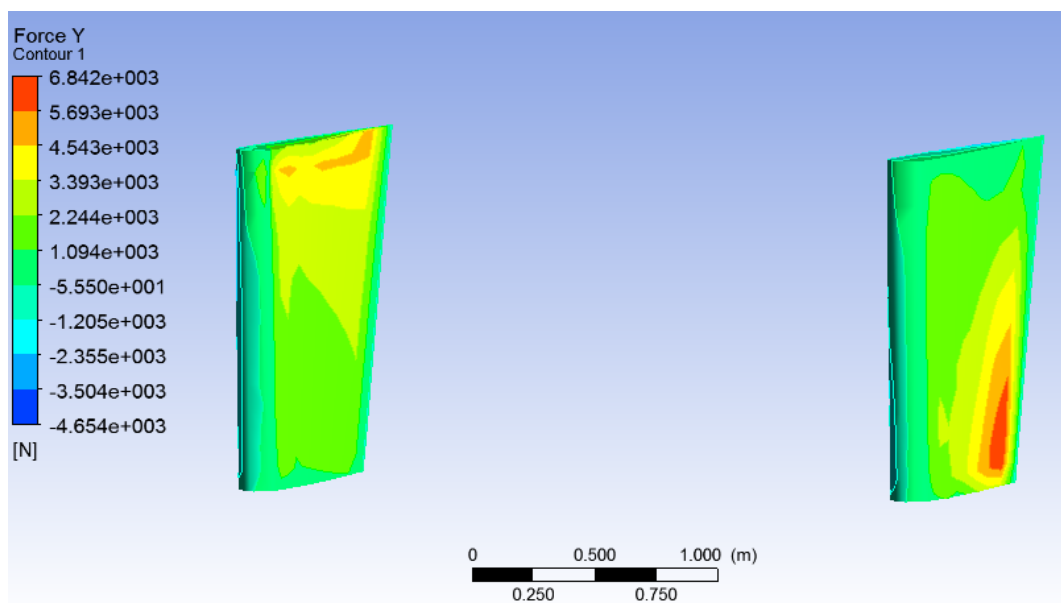
Kontur *drag force* pada variasi posisi *rudder* $X/L= 80\%$, sudut 25°



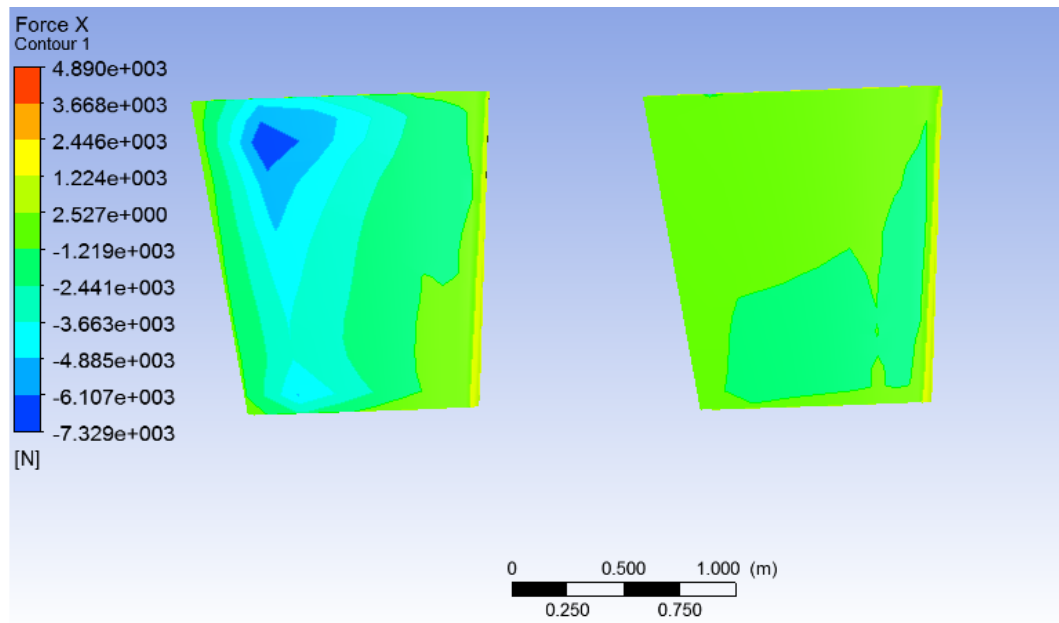
Kontur *lift force* pada variasi posisi *rudder* $X/L = 80\%$, sudut 25°



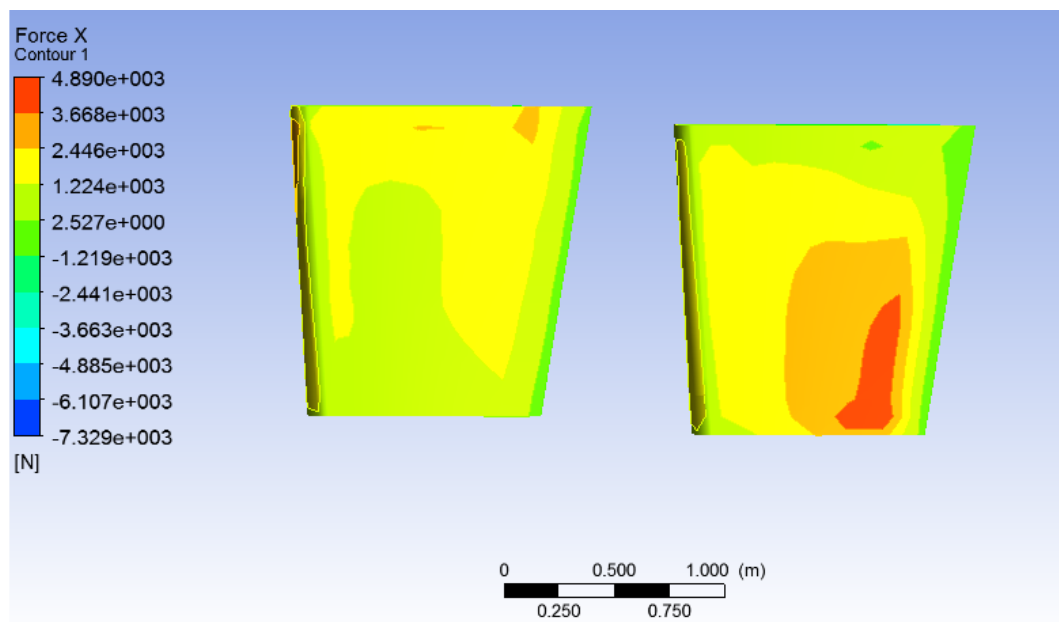
Kontur *lift force* pada variasi posisi *rudder* $X/L = 80\%$, sudut 25°



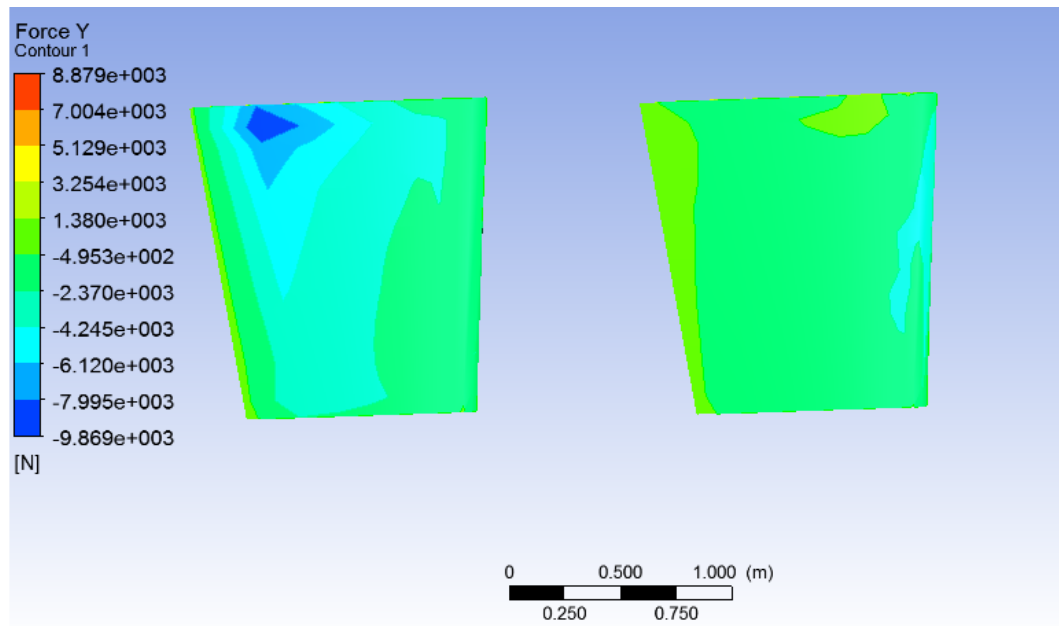
Kontur *drag force* pada variasi posisi *rudder* $X/L=80\%$, sudut 35°



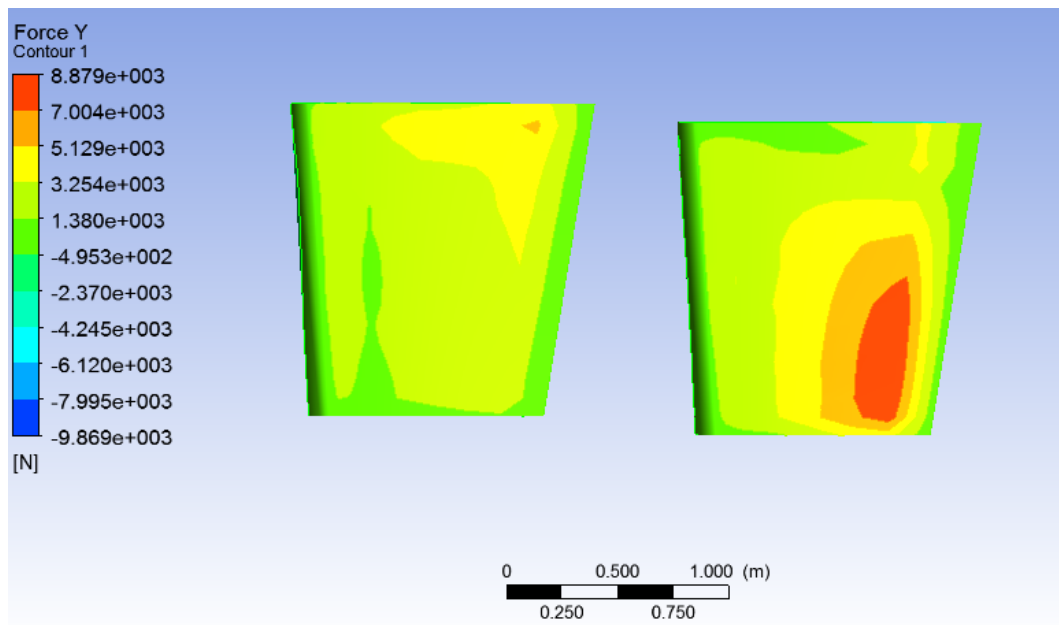
Kontur *drag force* pada variasi posisi *rudder* $X/L=80\%$, sudut 35°



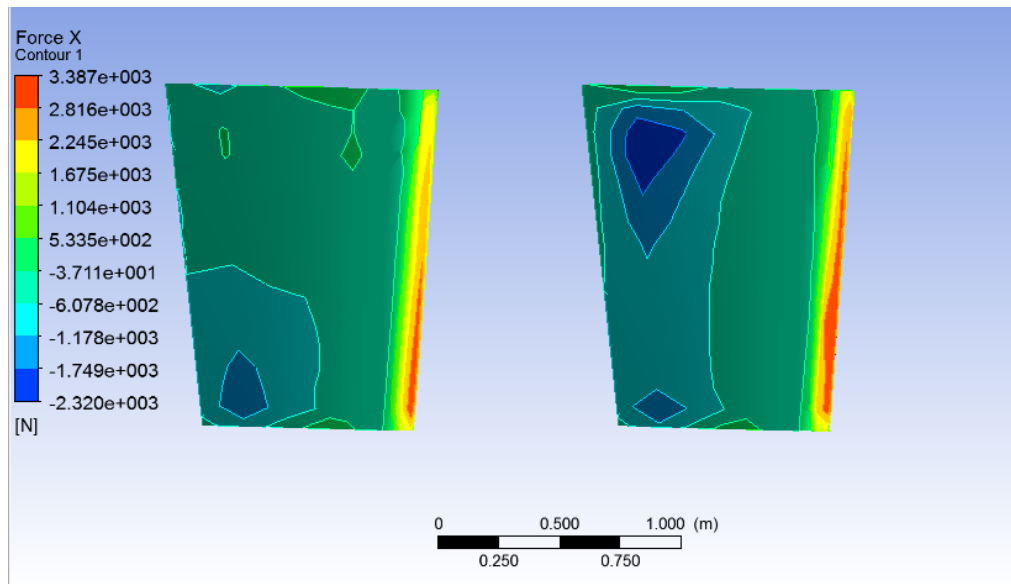
Kontur *lift force* pada variasi posisi *rudder* $X/L = 80\%$, sudut 35°



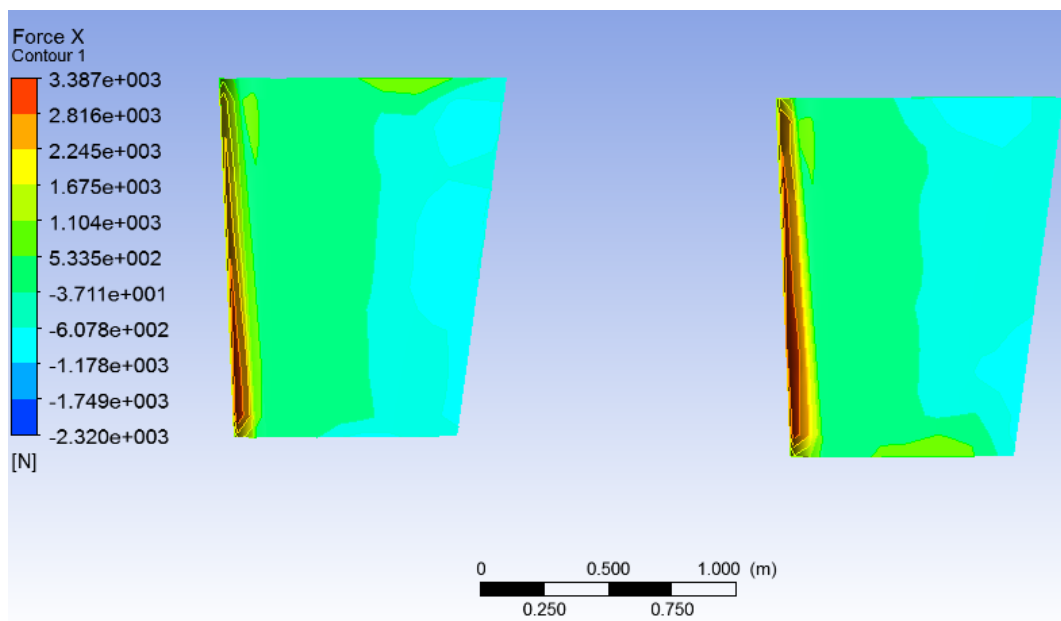
Kontur *lift force* pada variasi posisi *rudder* $X/L = 80\%$, sudut 35°



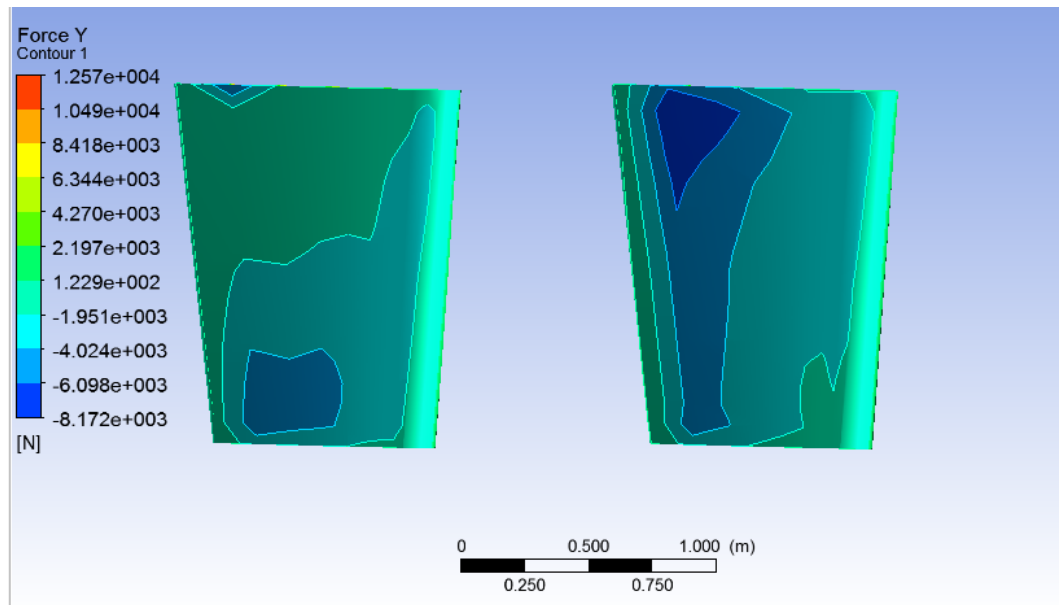
Kontur *drag force* pada variasi posisi *rudder* X/L= 100%, sudut 5°



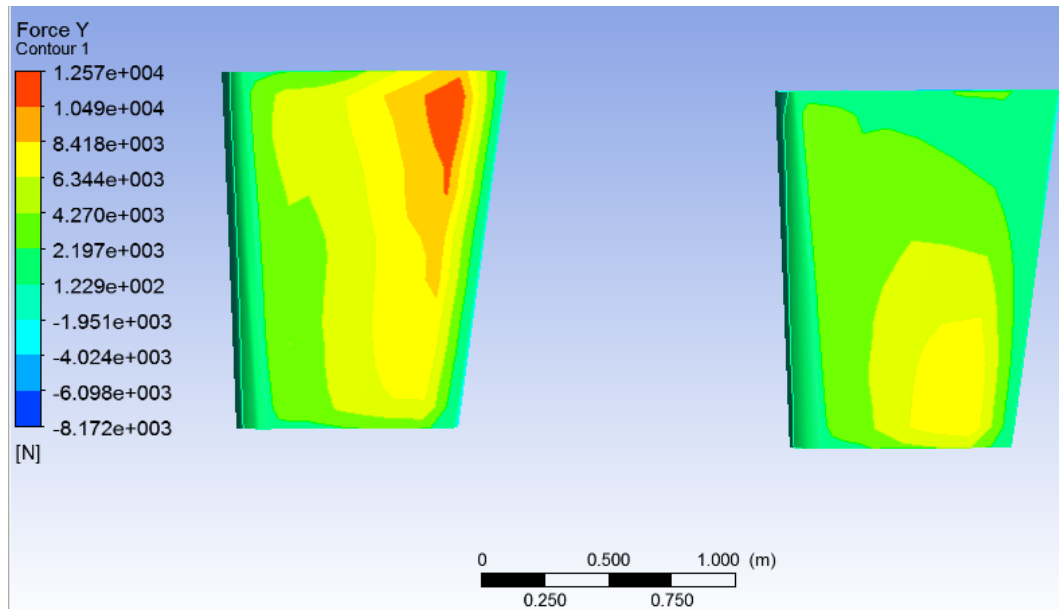
Kontur *drag force* pada variasi posisi *rudder* X/L= 100%, sudut 5°



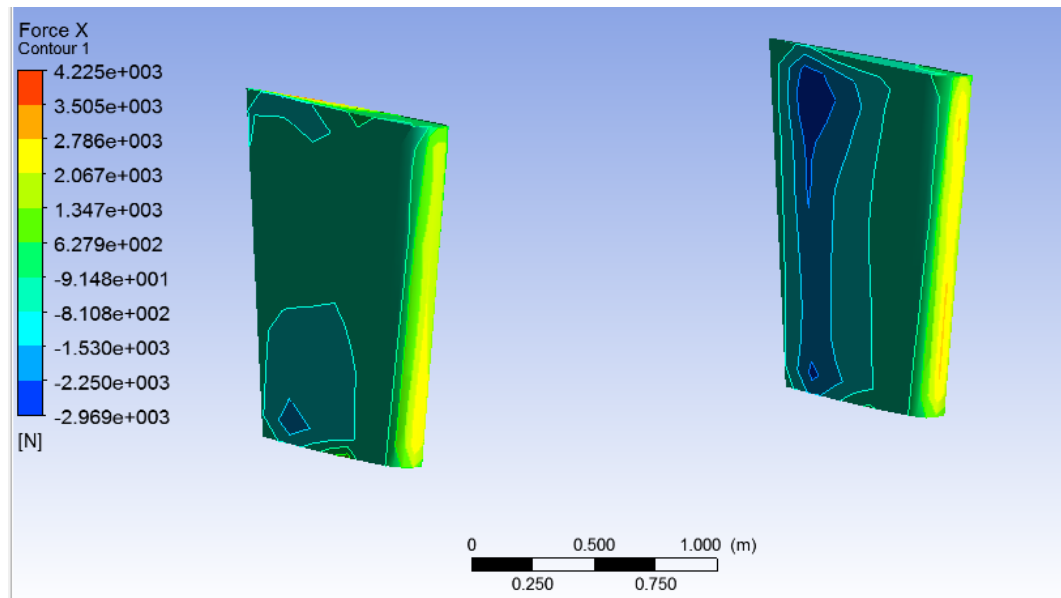
Kontur *lift force* pada variasi posisi *rudder* $X/L = 100\%$, sudut 5°



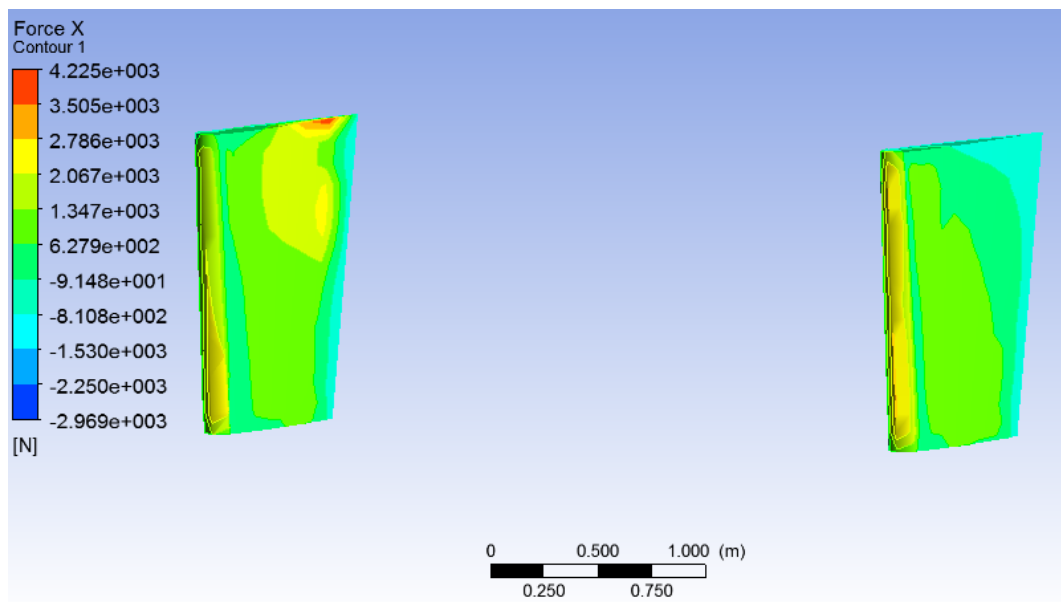
Kontur *lift force* pada variasi posisi *rudder* $X/L = 100\%$, sudut 5°



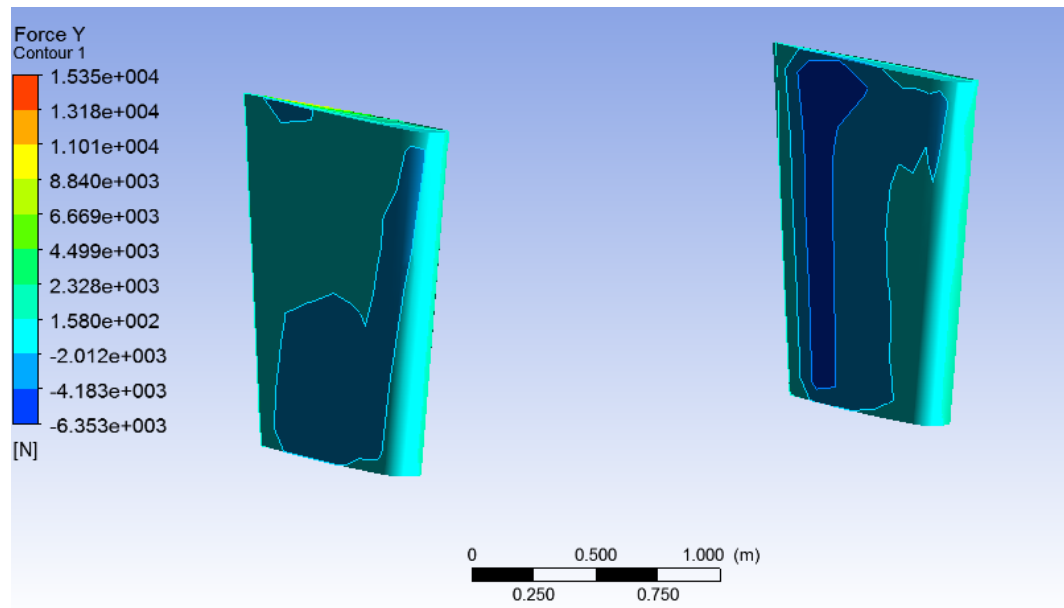
Kontur *drag force* pada variasi posisi *rudder* X/L= 100%, sudut 15°



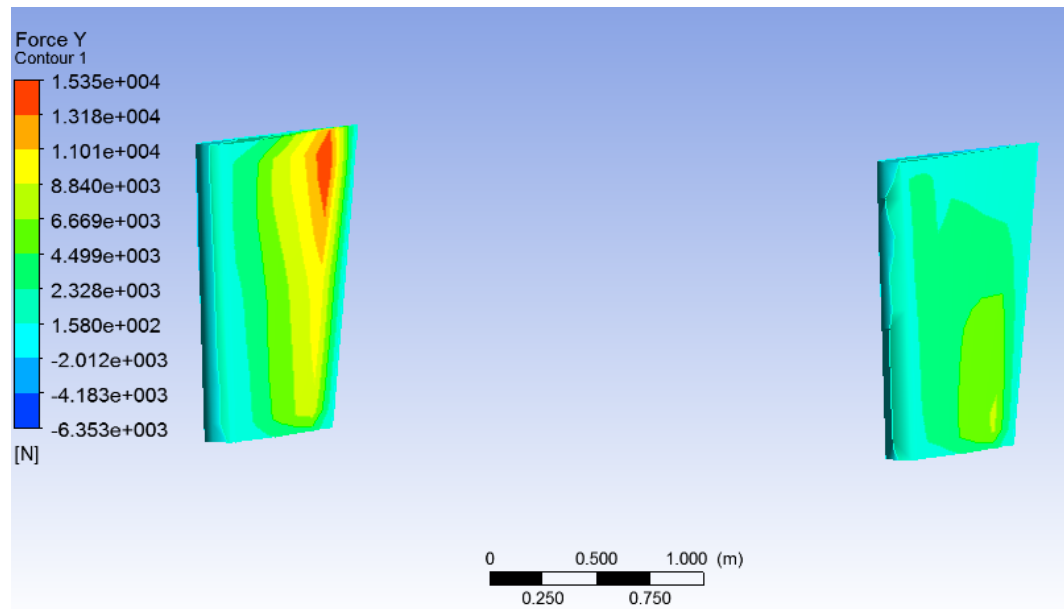
Kontur *drag force* pada variasi posisi *rudder* X/L= 100%, sudut 15°



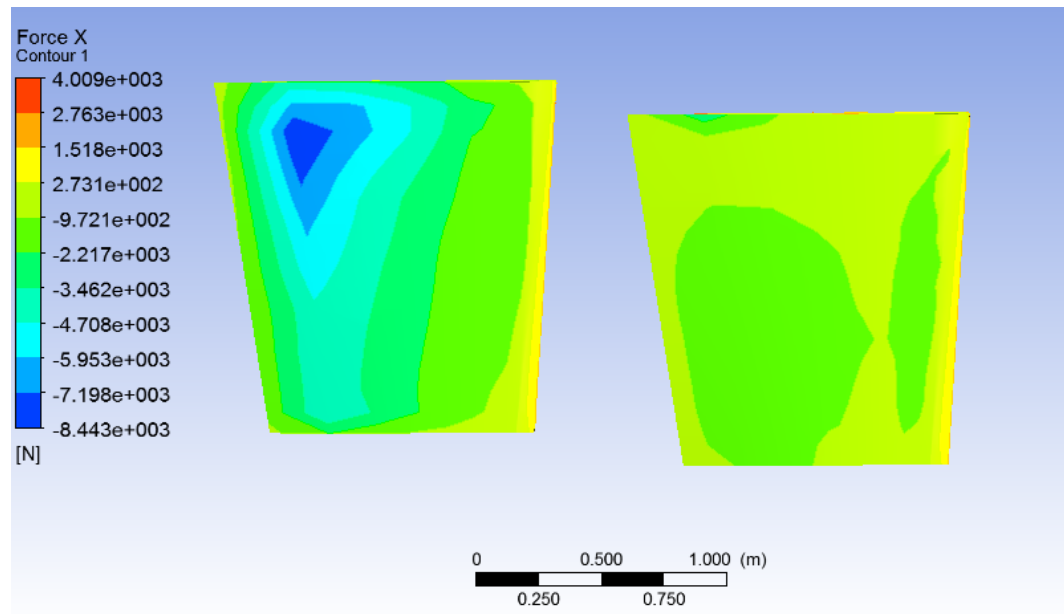
Kontur *lift force* pada variasi posisi *rudder* X/L= 100%, sudut 15°



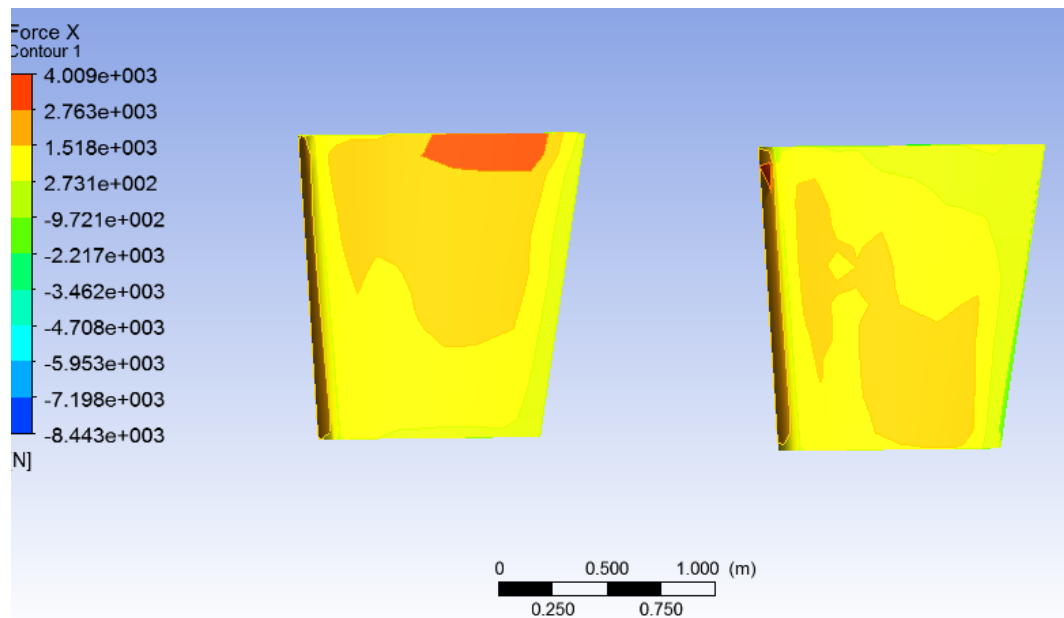
Kontur *lift force* pada variasi posisi *rudder* X/L= 100%, sudut 15°



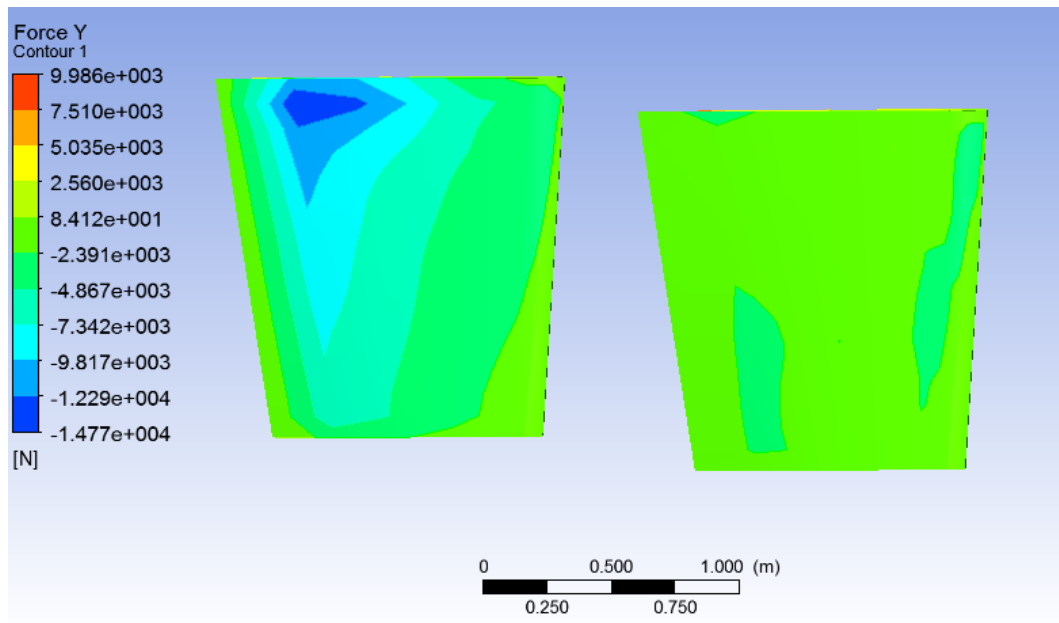
Kontur *drag force* pada variasi posisi *rudder* X/L= 100%, sudut 25°



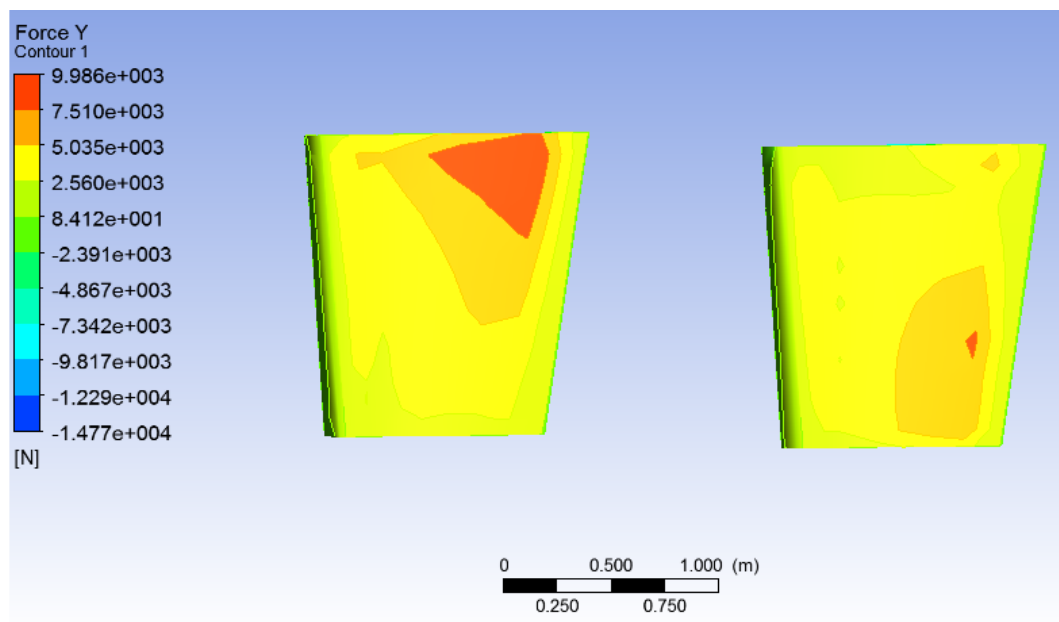
Kontur *drag force* pada variasi posisi *rudder* X/L= 100%, sudut 25°



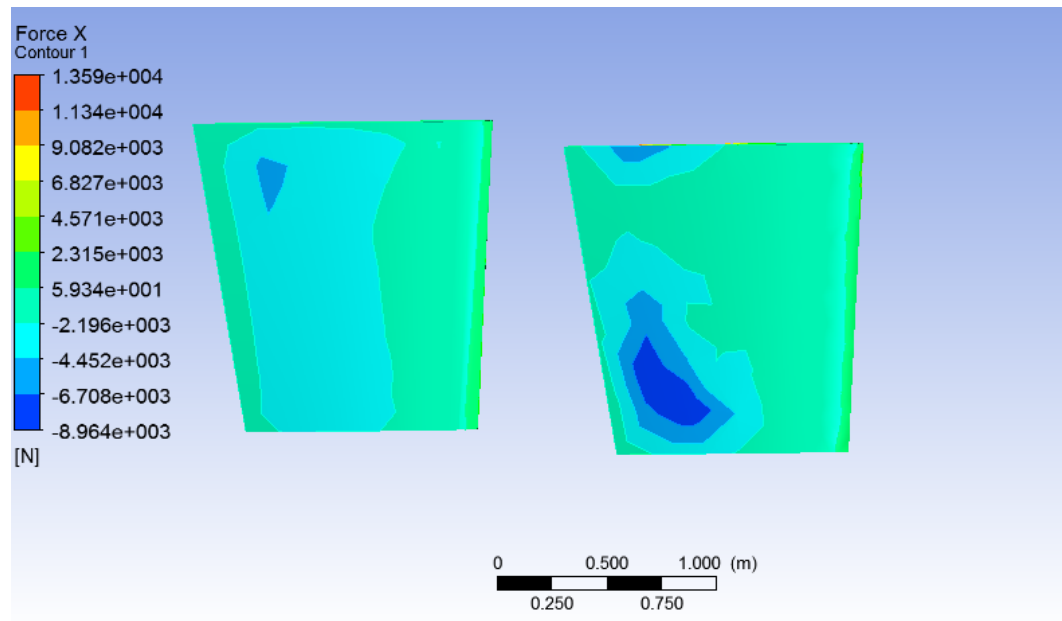
Kontur *lift force* pada variasi posisi *rudder* $X/L = 100\%$, sudut 25°



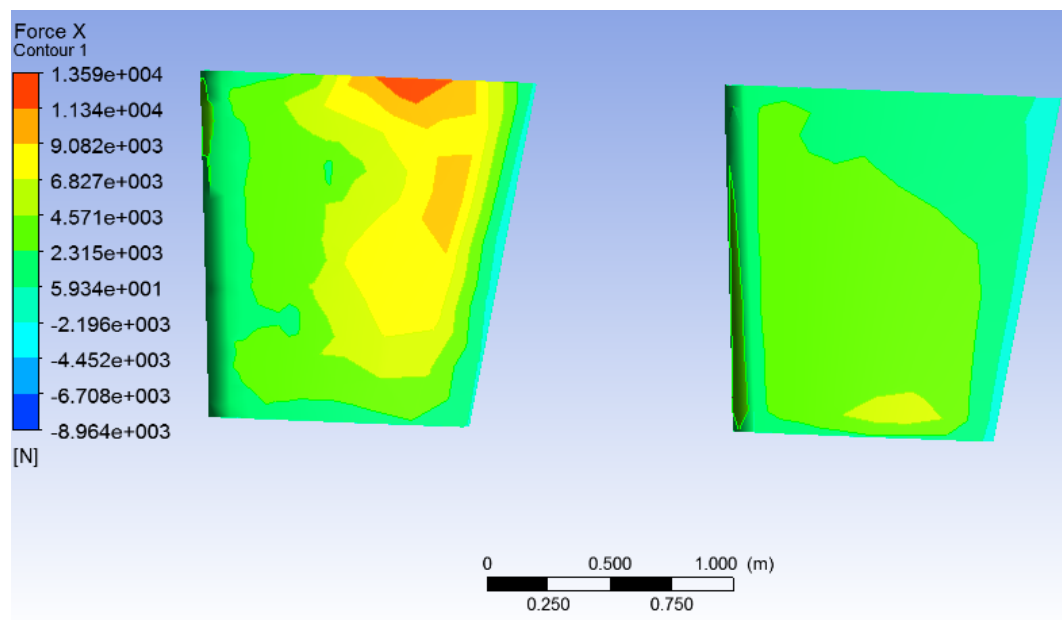
Kontur *lift force* pada variasi posisi *rudder* $X/L = 100\%$, sudut 25°



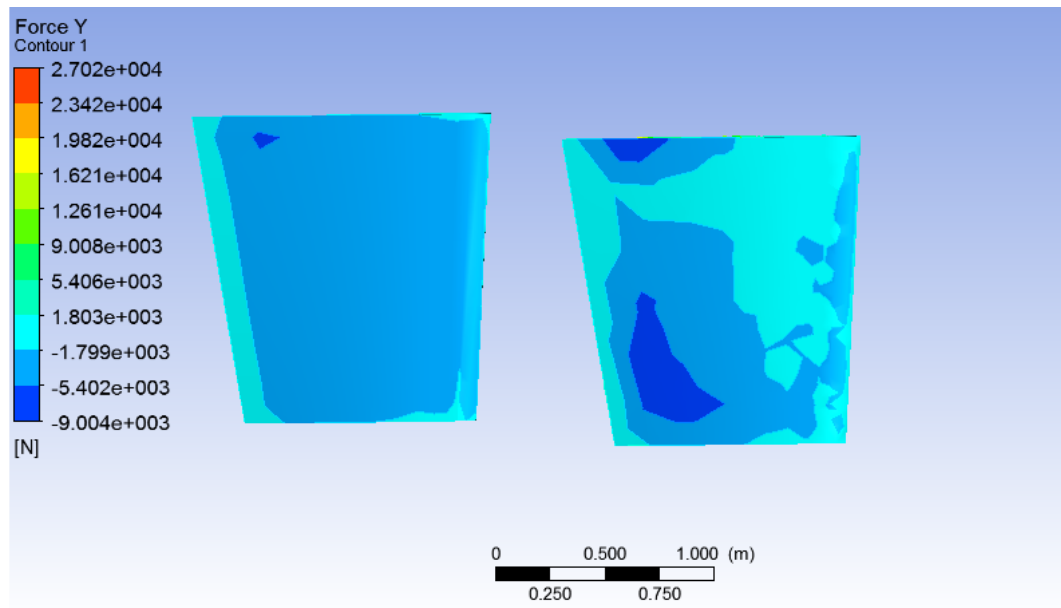
Kontur *drag force* pada variasi posisi *rudder* $X/L=100\%$, sudut 35°



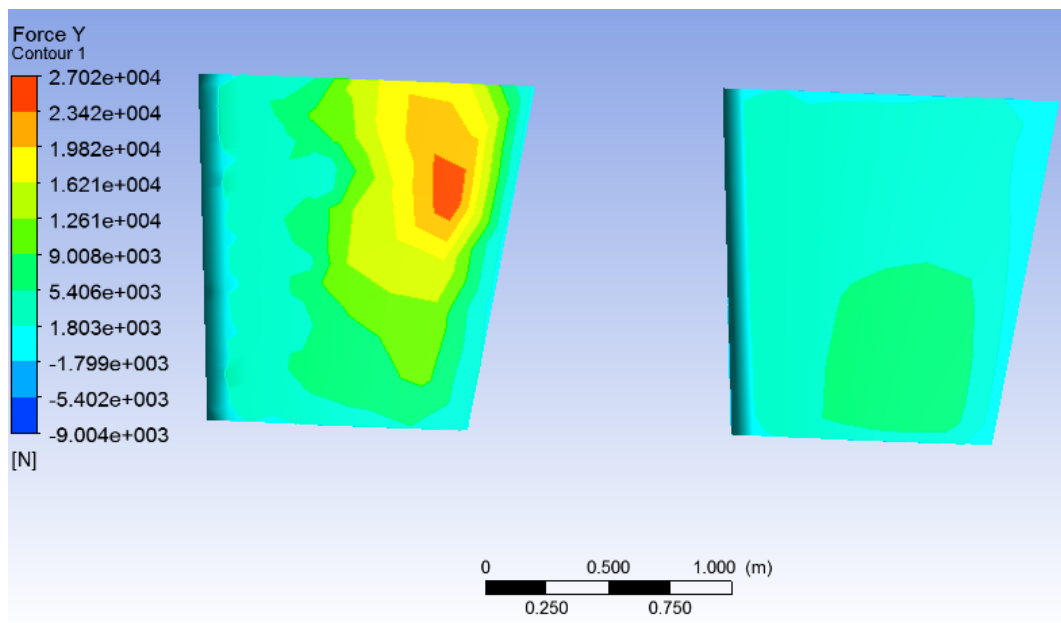
Kontur *drag force* pada variasi posisi *rudder* $X/L=100\%$, sudut 35°



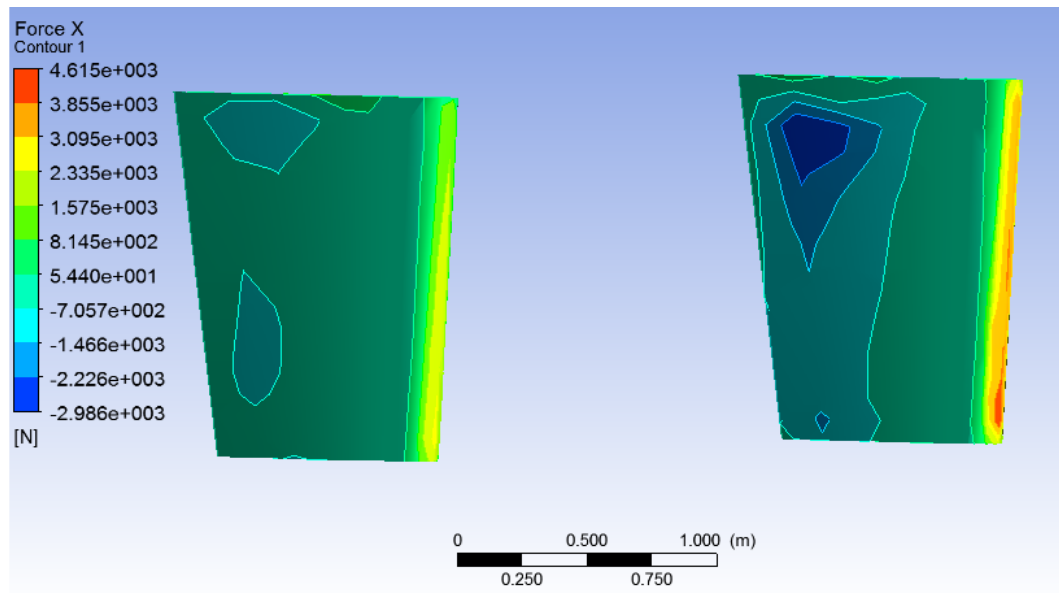
Kontur *lift force* pada variasi posisi *rudder* $X/L = 100\%$, sudut 35°



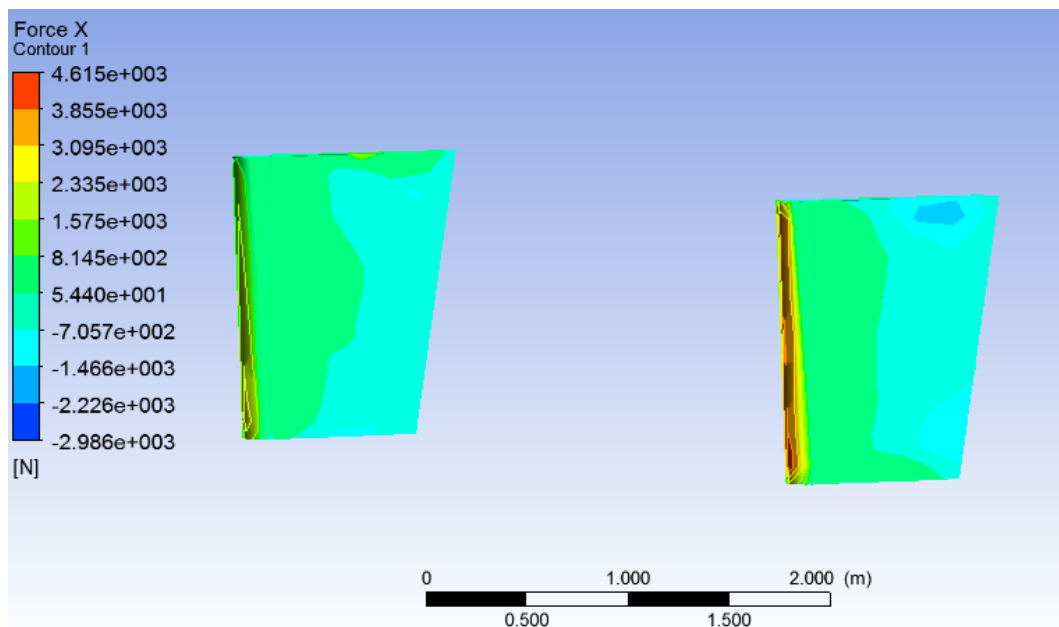
Kontur *lift force* pada variasi posisi *rudder* $X/L = 100\%$, sudut 35°



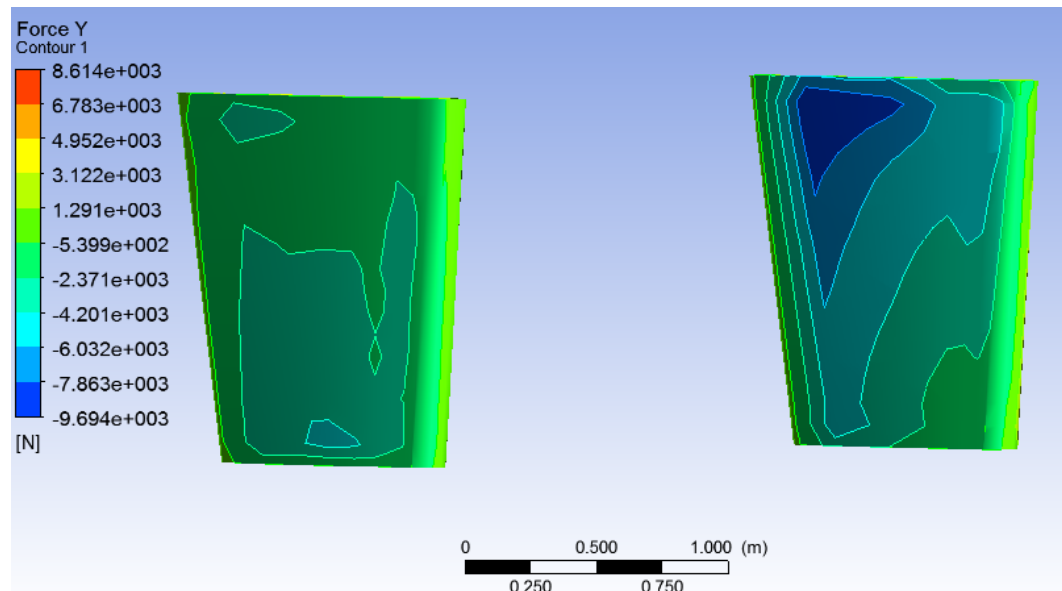
Kontur *drag force* pada variasi posisi *rudder* $X/L=120\%$, sudut 5°



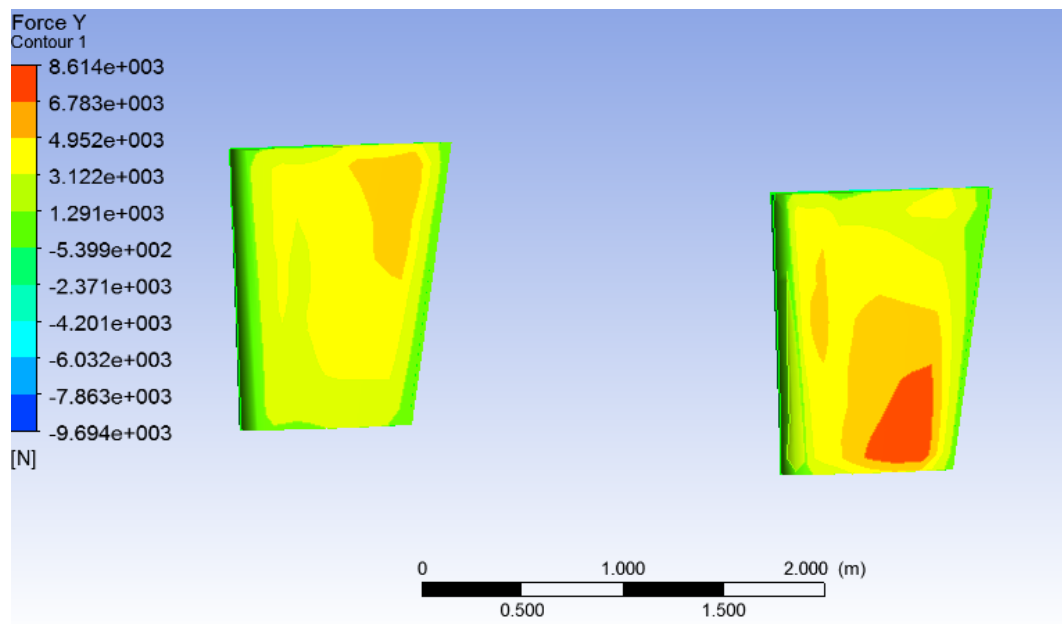
Kontur *drag force* pada variasi posisi *rudder* $X/L=120\%$, sudut 5°



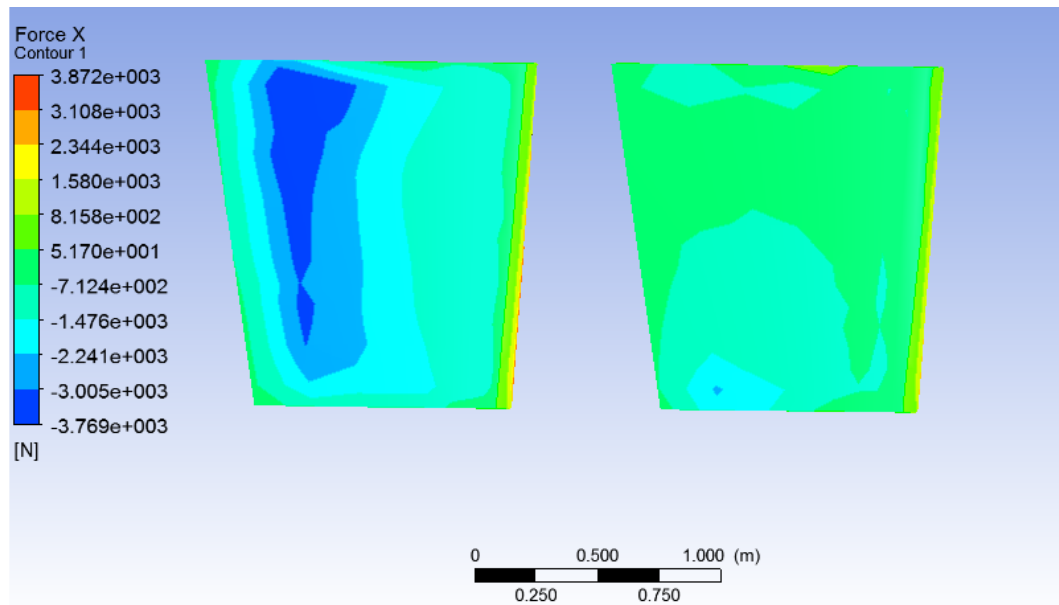
Kontur *lift force* pada variasi posisi *rudder* $X/L = 120\%$, sudut 5°



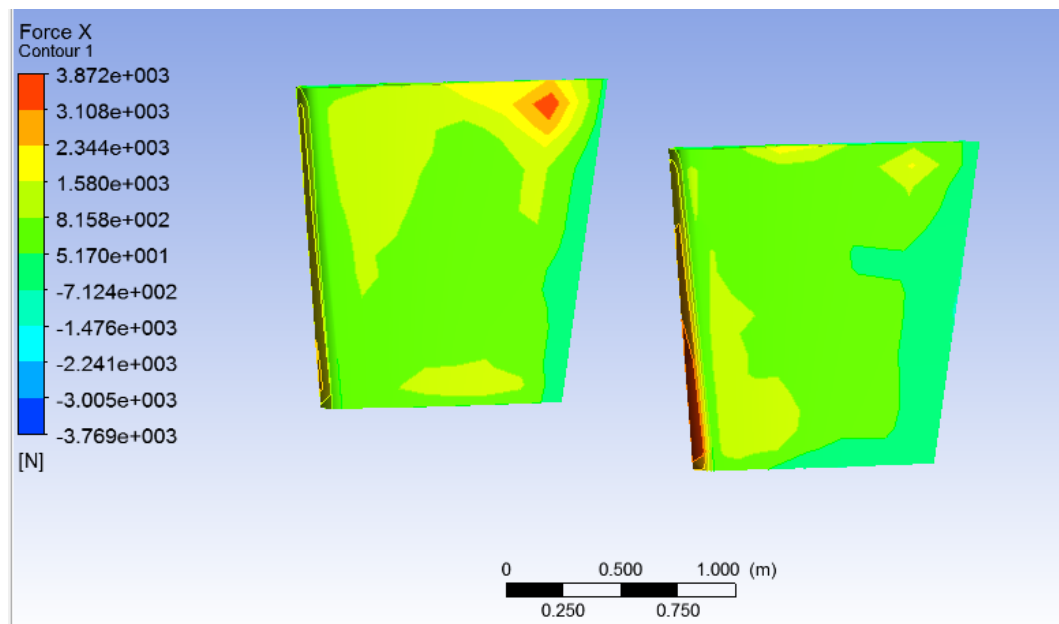
Kontur *lift force* pada variasi posisi *rudder* $X/L = 120\%$, sudut 5°



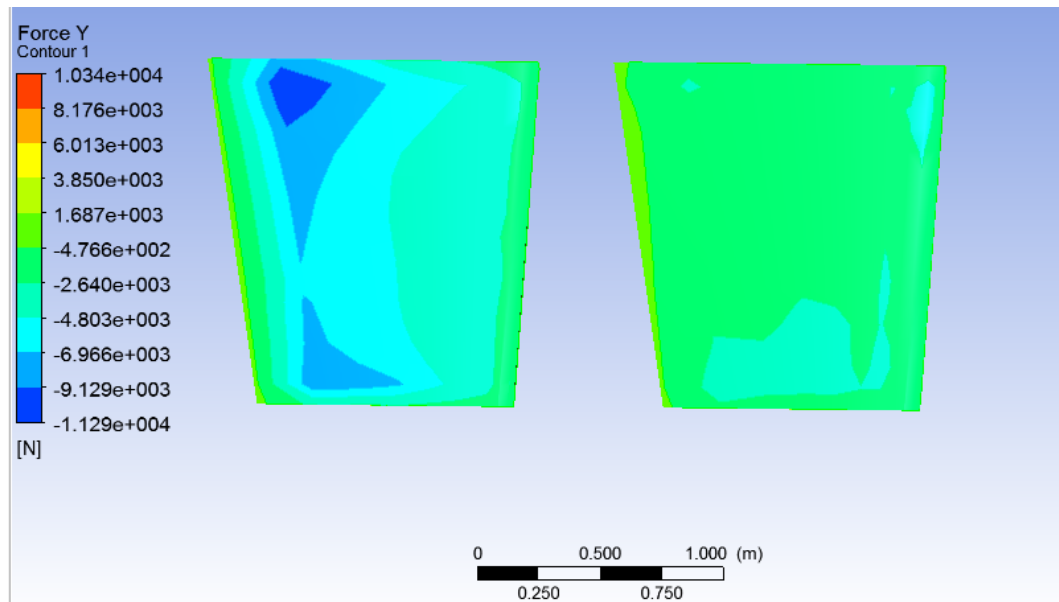
Kontur *drag force* pada variasi posisi *rudder* $X/L=120\%$, sudut 15°



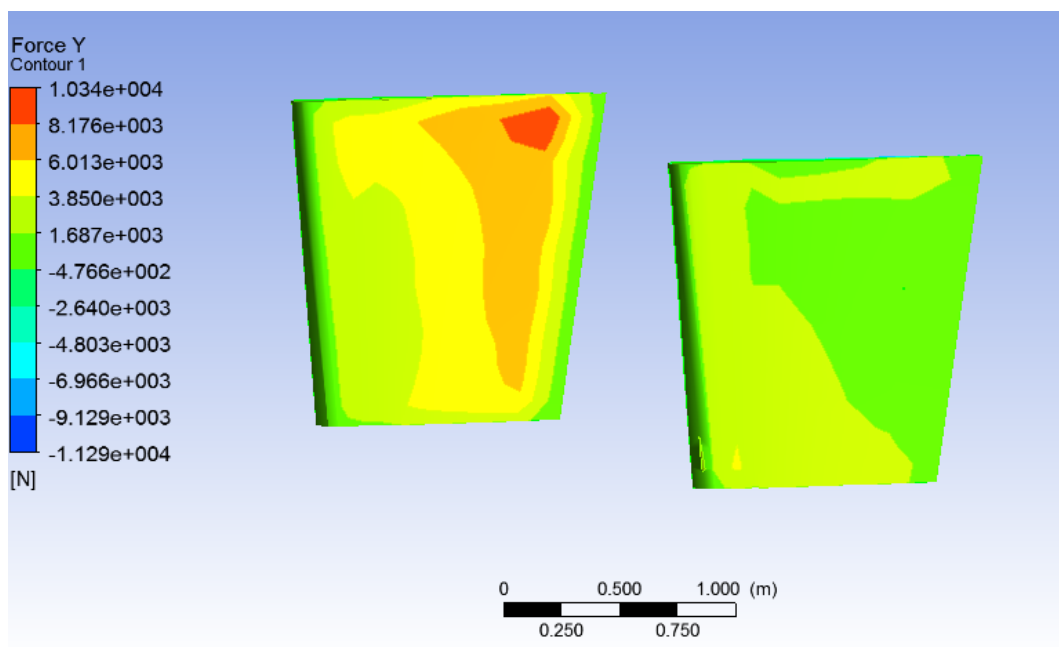
Kontur *drag force* pada variasi posisi *rudder* $X/L=120\%$, sudut 15°



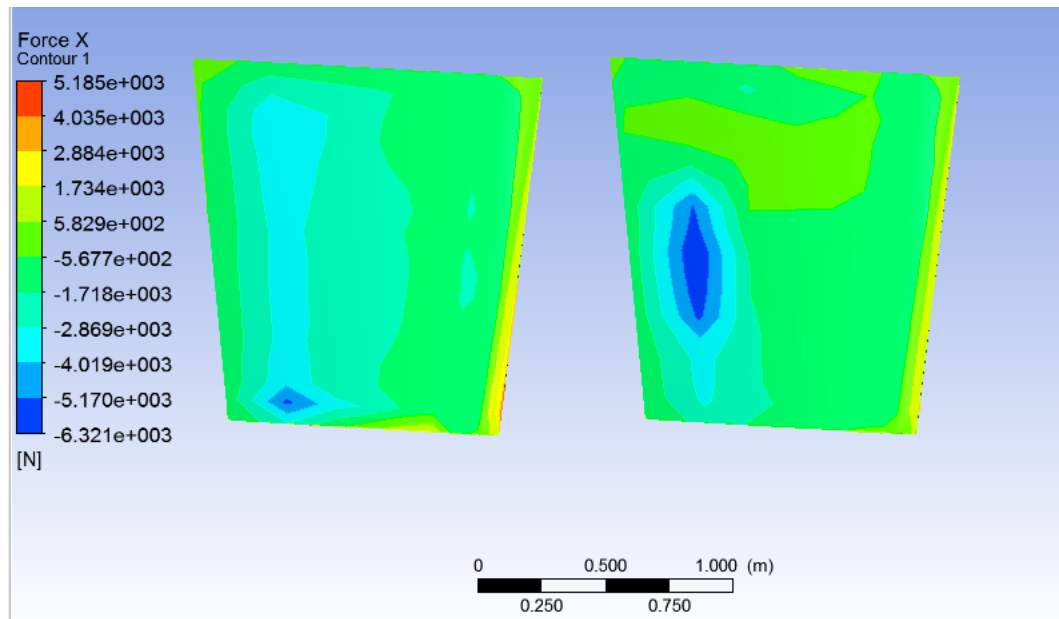
Kontur *lift force* pada variasi posisi *rudder* $X/L = 120\%$, sudut 15°



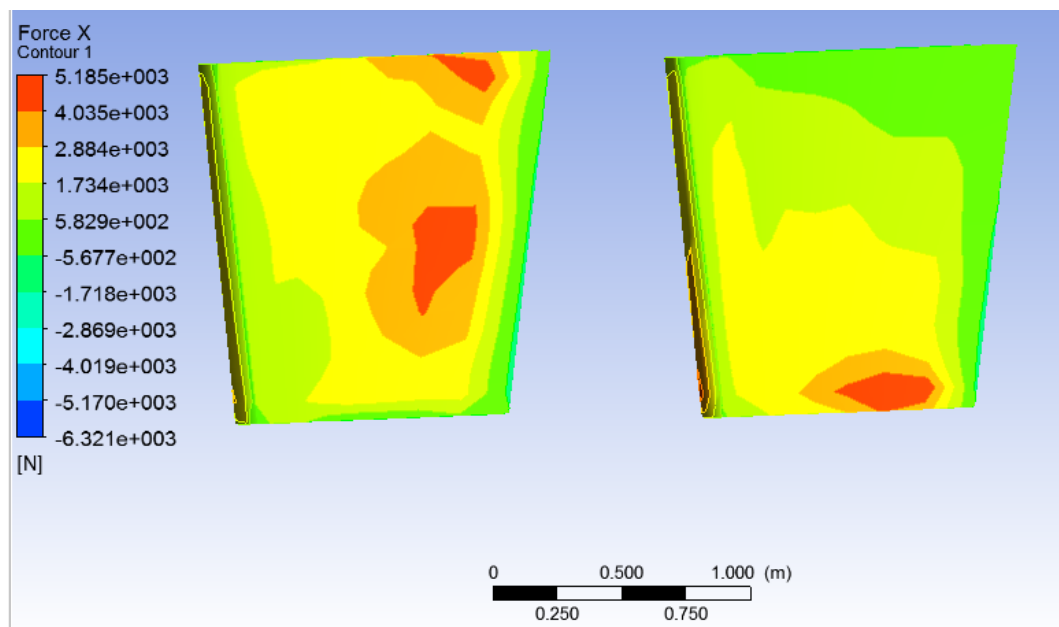
Kontur *lift force* pada variasi posisi *rudder* $X/L = 120\%$, sudut 15°



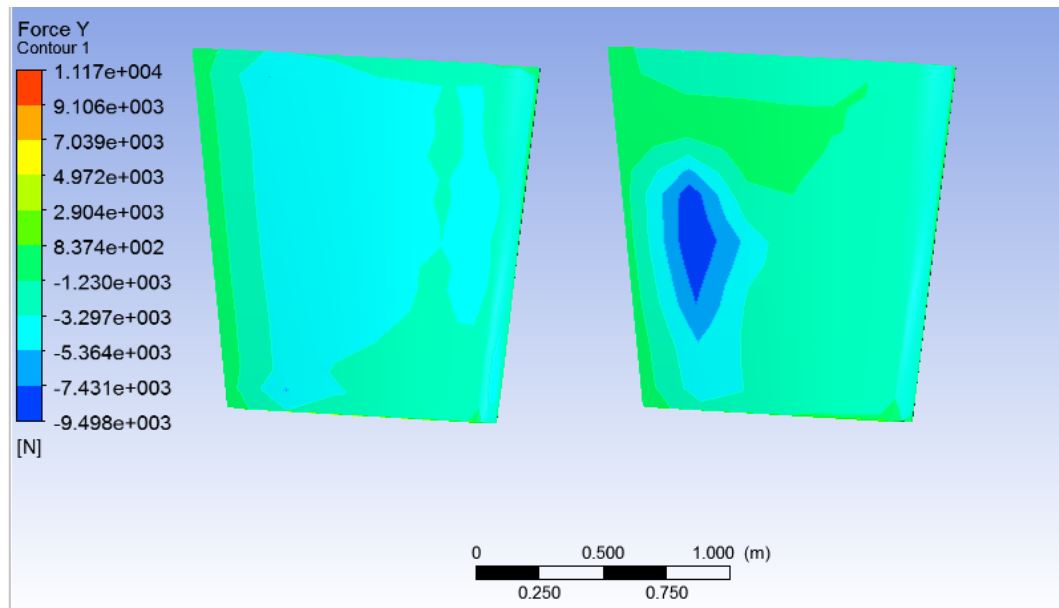
Kontur *drag force* pada variasi posisi *rudder* $X/L=120\%$, sudut 25°



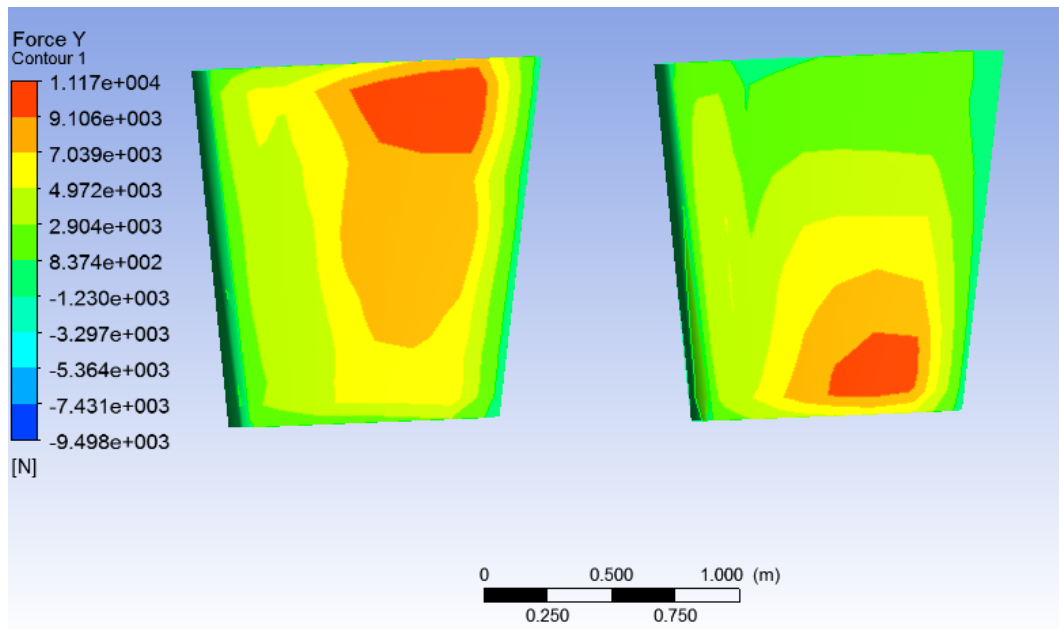
Kontur *drag force* pada variasi posisi *rudder* $X/L=120\%$, sudut 25°



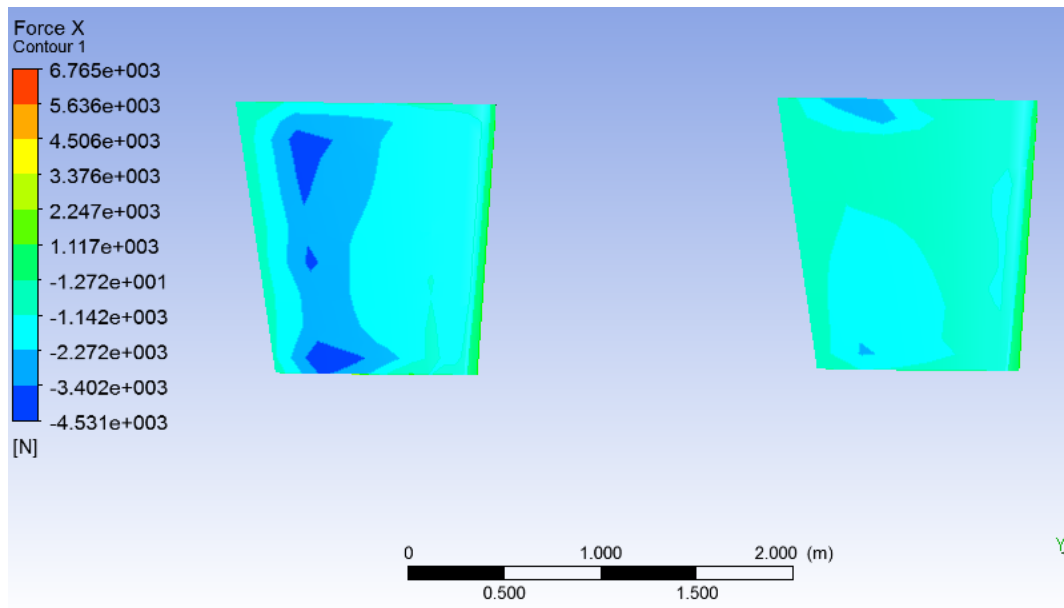
Kontur *lift force* pada variasi posisi *rudder* $X/L = 120\%$, sudut 25°



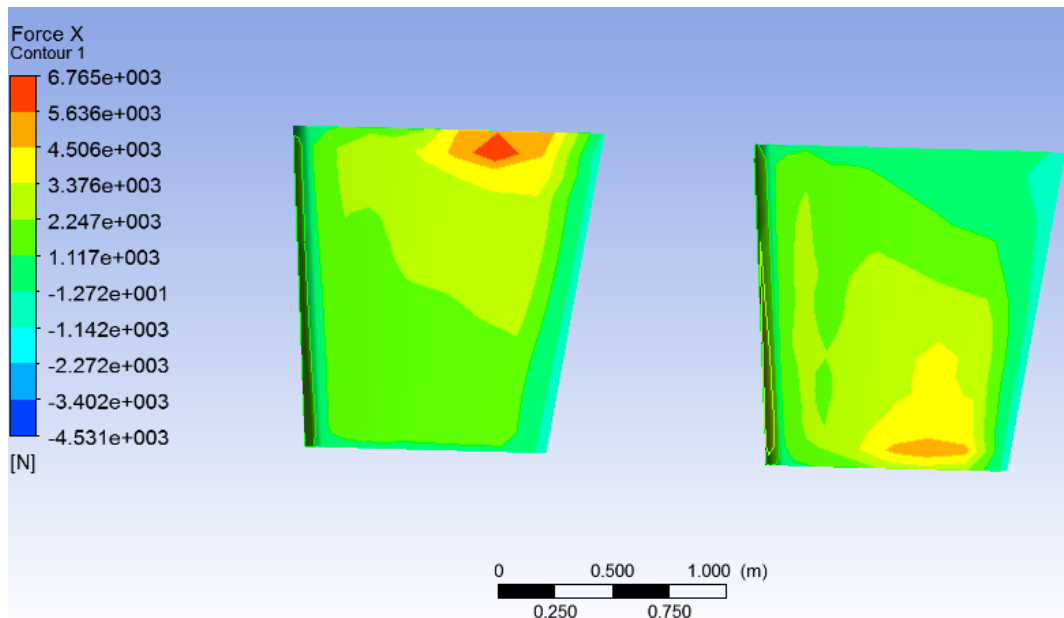
Kontur *lift force* pada variasi posisi *rudder* $X/L = 120\%$, sudut 25°



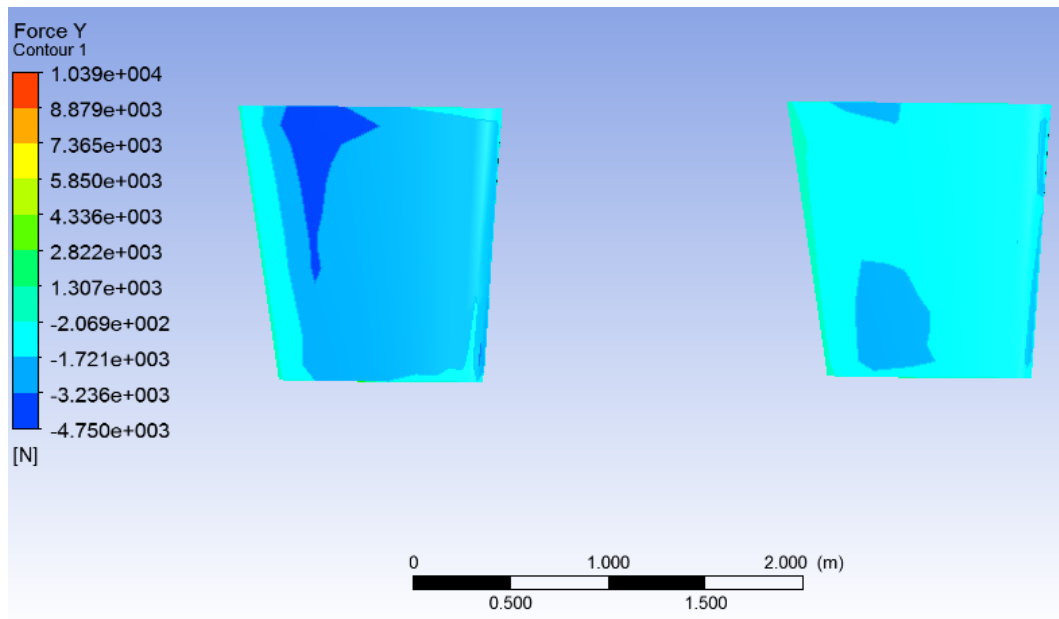
Kontur *drag force* pada variasi posisi *rudder* X/L= 120%, sudut 35°



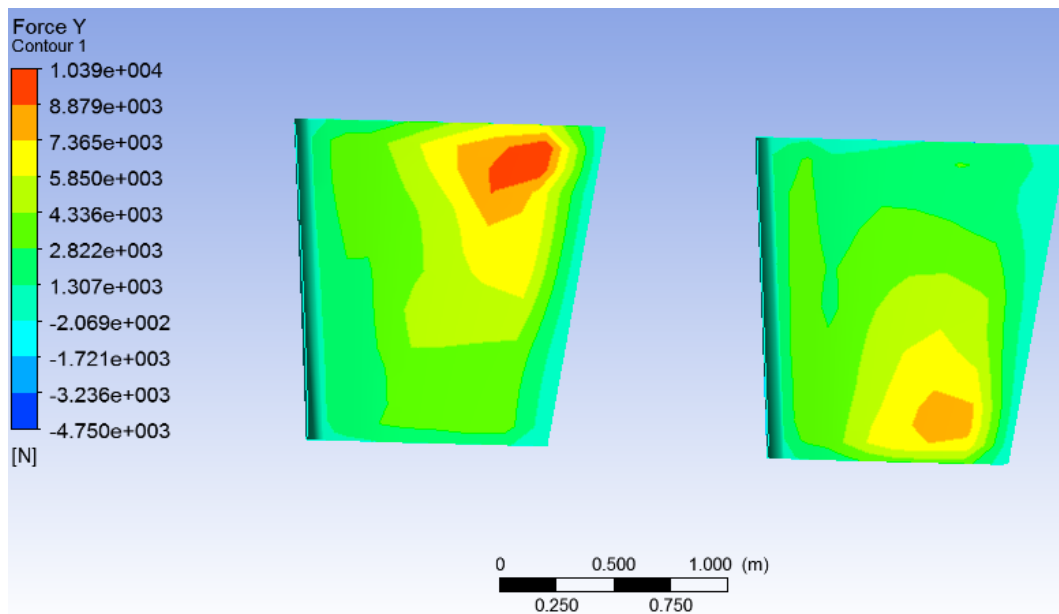
Kontur *drag force* pada variasi posisi *rudder* X/L= 120%, sudut 35°



Kontur *lift force* pada variasi posisi *rudder* $X/L = 120\%$, sudut 35°



Kontur *lift force* pada variasi posisi *rudder* $X/L = 120\%$, sudut 35°



BIODATA PENULIS



Benedictus Johanes Belalawe, lahir di Surabaya – Jawa Timur pada 29 Oktober 1993 sebagai anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis mengawali pendidikan formalnya di SD Negeri Wonokusumo VI Surabaya, kemudian melanjutkan ke SMP Negeri 5 Surabaya, dan SMA Negeri 7 Surabaya. Penulis menempuh pendidikan tinggi di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, ITS – Surabaya pada tahun 2012. Selama proses perkuliahan penulis pernah melaksanakan program Kerja Praktek selama 2 bulan di PT. PAL Indonesia dan menyelesaikan *project* dengan judul “Analisis Perubahan Bentuk dan Kecepatan Aliran Fluida pada Kapal Cepat Rudal 60 M dengan Variasi Penambahan *Rudder* dan *Skeg*”. Selama perkuliahan, penulis aktif mengikuti berbagai pelatihan dan seminar dalam rangka untuk pengembangan dirinya. Pada januari 2017 penulis menyelesaikan tugas akhirnya untuk memenuhi persyaratan menjadi sarjana program studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan ITS dengan judul “Analisis Variasi Posisi *Rudder* Terhadap Efektivitas Manuver Kapal”.

Contact person:

No HP: 08993774984

E-mail: benedictusjohanes70@gmail.com